

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA

PAULO LOPES PORTELA PARREIRA

Distribuição de Energia e Eficiência Energética em *Data Centers*

São João da Boa Vista
2024

Paulo Lopes Portela Parreira

Distribuição de Energia e Eficiência Energética em *Data Centers*

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações do Campus de São João da Boa Vista, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações .

Orientadora: Profª Drª. Rita de Cássia Domingos
Coorientador: Eng. Eletricista Othávio Mendes Vala

São João da Boa Vista

2024

P259d

Parreira, Paulo Lopes Portela

Distribuição de Energia e Eficiência Energética em Data Centers /
Paulo Lopes Portela Parreira. -- São João da Boa Vista, 2024
109 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de
Telecomunicações) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista

Orientadora: Rita de Cássia Domingos

Coorientador: Othávio Mendes Vala

1. Análise energética. 2. Banco de dados bibliográficos. 3.
Engenharia elétrica. I. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATA CENTERS

Aluno: Paulo Lopes Portela Parreira
Orientador: Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Domingos

Banca Examinadora:

- Rita de Cássia Domingos (Orientadora)
- Luiz Carlos Facundo Sanchez (Examinador)
- Edgar Eduardo Benitez Olivo (Examinador)

Os formulários de avaliação e a ata da defesa, na qual consta a aprovação do trabalho, devidamente assinados pela banca encontram-se no prontuário eletrônico do aluno.

São João da Boa Vista, 13 de setembro de 2024

Dedico esse trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conduzir meus planos e me proporcionar a sabedoria para a conclusão desse trabalho. Agradeço a Ele pelo amor verdadeiro e pelo dom da fé, que me faz enxergar o propósito da vida.

Aos meus amados pais, Limírio Geraldo Parreira e Hilda Aparecida Lopes Parreira, por lutarem incondicionalmente pelo meu sucesso e por me proporcionarem a oportunidade de realizar o que um dia foi um sonho para eles. São meus exemplos de vida e conduta. Serei sempre grato a vocês.

Aos meus irmãos, Lucas e Vanessa Lopes Parreira, por serem meus companheiros na vida e me incentivarem, sempre. Agradeço pelos momentos compartilhados, que enriquecem minha trajetória.

À minha amada namorada, Isabella de Oliveira Ferreira, por ser meu apoio emocional e uma verdadeira incentivadora. Sou profundamente grato pelo amor, pela reciprocidade e pela parceria com que enfrentamos juntos os desafios em busca do nosso crescimento. Agradeço por estar ao meu lado nos momentos de alegria e nas adversidades.

À Profa. Dra. Rita de Cassia Domingos, minha idônea orientadora, por todo apoio acadêmico, por suas contribuições e *insights*, que foram relevantes para a conclusão deste trabalho.

Finalmente, ao meu coorientador, Othavio Mendes Vala, que me acompanhou desde o início da minha vida profissional, pela dedicação e o apoio acadêmico. Agradeço por todo o conhecimento e experiência compartilhados.

*“Agrada-te do Senhor, e ele satisfará os desejos do teu coração.
Entrega teu caminho ao Senhor, confia nele, e o mais ele fará.” (Salmos 37:4-5)*

RESUMO

À medida que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) evoluem, os *data centers* tornaram-se essenciais. Essas instalações não mais concentram as informações em um único local, mas as armazenam de forma descentralizada, em diversos pontos ao redor do globo. Um dos pilares essenciais de um *data center* é o fornecimento contínuo e confiável de energia elétrica, que garantem o funcionamento ininterrupto dessas instalações físicas. Estudos de eficiência energética são cruciais, já que os *data centers* demandam uma quantidade substancial de energia para manter o funcionamento dos equipamentos críticos e das diversas estruturas, especialmente os sistemas de refrigeração. Como os equipamentos dos *data centers* se tornam cada vez mais densos, é primordial a busca por soluções que tornem os sistemas de gestão de energia mais eficientes e adaptáveis às futuras demandas de *data centers*. Em particular, a distribuição de energia elétrica de baixa tensão é centralizada em uma sala de distribuição, que abriga painéis estruturados para dividir as fontes de energia em circuitos individuais, cada um com proteção dimensionada conforme a necessidade de potência. Este trabalho apresenta uma discussão sobre as principais normas e diretrizes para um projeto da infraestrutura elétrica de *data centers*, além das necessidades estruturais e requisitos essenciais para garantir o funcionamento contínuo e seguro dessas instalações. O objetivo é mostrar como é assegurada a integridade e a disponibilidade da rede elétrica, fundamental para a operação eficiente de *data centers*. Como um exemplo, é apresentado um projeto detalhado de distribuição elétrica de um *data center* de pequeno porte. O projeto considera os aspectos críticos da infraestrutura elétrica do *data center*, como: monitoramento e conformidade com normas, redundância, capacidade de carga elétrica, segurança, manutenções e certificações relevantes.

PALAVRAS-CHAVE: *Data Center*; Eficiência Energética; Unidade de Distribuição de Energia (PDU); Fonte de Alimentação Ininterrupta (UPS).

ABSTRACT

Data centers have become essential as Information and Communication Technologies (ICTs) evolve. These facilities no longer concentrate information in a single location; information is stored in distributed locations worldwide. One of the main pillars of a data center is a continuous and reliable power supply. This ensures the uninterrupted operation of these physical facilities. Since data centers require significant energy to maintain equipment and various structures, significant cooling systems and energy efficiency studies are critical. With the increasing density and load of equipment, it is essential to seek solutions that make energy management systems more efficient and adaptable to the future needs of data centers. In particular, the low-voltage power distribution is centralized in a distribution room that houses structured panels to divide the power sources into individual circuits, each with protection dimensioned according to the power demand. This work discusses the primary standards and guidelines for a data center electrical infrastructure project and the structural needs and essential requirements to ensure these facilities' continuous and safe operation. The goal is to show how to ensure the integrity and availability of the electrical network, which is fundamental to the efficient operation of a data center. A detailed electrical distribution project for a small-scale data center is presented as an example of data center design. The project considers the critical aspects of the data center's electrical infrastructure, such as monitoring and compliance, redundancy, electrical load capacity, safety, maintenance, and relevant certifications.

KEYWORDS: Data Center; Energy Efficiency; Power Distribution Unit (PDU); Uninterruptible Power Supply (UPS);

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Topologia Elétrica de um <i>data center Tier 1</i> . Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura básica, com um único ponto de entrada de energia e único caminho de distribuição de energia.	23
Figura 2.2	Topologia Elétrica de um <i>data center Tier 2</i> . Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura com alguns componentes redundantes, com um único ponto de entrada de energia e único caminho de distribuição de energia. . . .	24
Figura 2.3	Topologia Elétrica de um <i>data center Tier 3</i> . Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura que apresenta todos os componentes em redundância, incluindo dois pontos de entrada de energia elétrica e caminhos de distribuição de energia também redundantes, que se estendem até os equipamentos de carga crítica.	26
Figura 2.4	Topologia Elétrica de um <i>data center Tier 4</i> . Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura que apresenta todos os componentes em redundância e fisicamente separados, incluindo dois pontos de entrada de energia elétrica de concessionárias distintas e caminhos de distribuição de energia também redundantes, que se estendem até os equipamentos de carga crítica.	27
Figura 2.5	Representação dos componentes de um sistema trifásico em estrela. (a) Representa as tensões de fase e de linha. (b) Representa a defasagem entre as tensões de fase.	30
Figura 2.6	Representação simbólica e física de disjuntores, respectivamente. Na simbologia dos disjuntores, cada ponto de conexão é identificado por um número específico. A aplicação de cada tipo de disjuntor varia conforme o circuito elétrico em questão, que pode ser monopolar, bipolar, tripolar ou tetrapolar. .	32
Figura 2.7	Representação dos Tipos de Curvas de Disparos de um Disjuntor. (a) Curvas de disparo do tipo B, C e D (b) Curvas de disparo do tipo Z e K.	33
Figura 2.8	Representação simbólica e física de um DPS, respectivamente. Na simbologia do DPS, "X1" é a conexão com o potencial e "PE" é a conexão com o aterramento do sistema elétrico.	34
Figura 2.9	Representação simbólica e física de um IDR tetrapolar, respectivamente. Na simbologia do IDR, as fases e o condutor de neutro estão conectados na parte superior do dispositivo, correspondendo aos pontos 1, 3, 5 e 7. A saída dos potenciais para o circuito elétrico é realizada pela parte inferior, que se refere aos pontos 2, 4, 6 e 8.	35
Figura 2.10	Representação simbólica e física de um relé, respectivamente. Na simbologia do relé, o contato normalmente aberto é representado pelos pontos 14 e 11, enquanto o contato normalmente fechado é indicado pelos pontos 12 e 11. A bobina de acionamento é simbolizada pela conexão entre A1 e A2.	36

Figura 2.11	Representação Simbólica de Contatos Elétricos. (a) Contato Normal Aberto (<i>normally open</i> — NO). (b) Contato Normal Fechado (<i>normally closed</i> — NC).	36
Figura 2.12	Representação simbólica e física de um contator tripolar, respectivamente. Na simbologia do contator, as fases estão conectados na parte superior do dispositivo, correspondendo aos pontos 1, 3 e 5. A saída dos potenciais para o circuito elétrico é realizada pela parte inferior, que se refere aos pontos 2, 4 e 6.	37
Figura 2.13	Representação de uma ATS. (a) ATS tetrapolar com capacidade para comutar cargas elétricas de até 400A. (b) ATS bipolar com capacidade para comutar cargas elétricas de até 63A.	38
Figura 2.14	Circuito de um sistema de transferência automática (ATS) para cargas elétricas com capacidade de 38 kilovolt-ampères. O circuito emprega contadores com capacidade de 100 ampères para a comutação entre duas fontes de energia destinadas a uma carga elétrica trifásica. A chave de transferência bipolar, com capacidade de 63 ampères, atua exclusivamente no circuito de comandos.	39
Figura 2.15	Representação física de dispositivos de automação. (a) CLP. (b) IHM.	40
Figura 2.16	Componentes de um Grupo Motor Gerador. O motor a combustão está destacado em vermelho, o gerador de energia elétrica de corrente alternada em preto e o QTA em branco.	41
Figura 2.17	Diagrama de Blocos da Topologia Elétrica de uma UPS On-line (dupla-conversão). Nesse tipo de sistema, a energia é continuamente convertida e fornecida ao circuito crítico, garantindo proteção constante contra interrupções e flutuações na rede elétrica.	44
Figura 2.18	Diagrama de Blocos da Topologia Elétrica de uma UPS Off-line. Nesse tipo de sistema, a energia é fornecida diretamente da rede elétrica à carga por meio de um desvio. Em caso de falha na rede, a UPS transfere automaticamente a utilização da bateria pelo inversor, para a continuidade da alimentação do circuito crítico.	45
Figura 2.19	Representação de modelos de PDU. (a) PDUs horizontais gerenciáveis. (b) PDU vertical gerenciável.	46
Figura 2.20	Simbologia para sistemas de aterramento.	47
Figura 2.21	Representação do Esquema TN-S para massas trifásicas.	48
Figura 2.22	Representação do Esquema TN-C para massas trifásicas.	48
Figura 2.23	Representação do Esquema TN-C-S para massas trifásicas.	49
Figura 2.24	Representação do Esquema TT com massas que compartilham o mesmo eletrodo de aterramento.	49
Figura 2.25	Representação do Esquema TT com massas que utilizam eletrodos de aterramento, distintos.	50
Figura 2.26	Representação do Esquema IT com massas que utilizam eletrodos de aterramento, distintos.	50

Figura 2.27	Representação do esquema IT com massas que compartilham o mesmo eletrodo de aterramento e com eletrodos distintos.	51
Figura 3.1	Representação de Matrizes Elétricas. (a) Matriz Elétrica Mundial de 2021. (b) Utilização de Recursos Renováveis e Não Renováveis para a Geração de Energia Elétrica Brasileira e Mundial de 2021.	56
Figura 4.1	Barramento Trifásico de 24 Polos BRUM.	61
Figura 4.2	Base adaptadora Plug-in WÖHNER. (a) Instalação de disjuntores na base adaptadora. (b) Vista isométrica da base adaptadora especificando a seção mínima e máxima para as conexões em milímetros quadrados.	64
Figura 4.3	<i>Power Distribution Unit</i> (PDU) de 24 tomadas NBR 14136 de 20 ampères. .	65
Figura 4.4	Inspeção Termográfica. (a) Servidor Instalado em um <i>Rack</i> . (b) Conexão do Cabo de Alimentação ao Barramento de uma PDU.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Seção mínima de condutores para circuitos gerais. A primeira coluna indica o tipo de circuito elétrico, a segunda classifica esses circuitos e a terceira define a seção mínima do condutor que deve ser utilizada.	53
Tabela 2.2 – Seção Reduzida para Condutores de Neutro. A primeira coluna refere-se à seção dos condutores de fase do circuito elétrico em análise, enquanto a segunda determina a seção do condutor de neutro que deve ser adotada.	54
Tabela 2.3 – Seção Reduzida para Condutores de Proteção. A primeira coluna refere-se à seção dos condutores de fase do circuito elétrico em análise, enquanto a segunda determina a seção do condutor de proteção que deve ser adotada.	55
Tabela 3.1 – Conceitos de Métricas de Eficiência em <i>Data Centers</i> . A primeira coluna indica o tipo de métrica de eficiência, a segunda apresenta a referência utilizada para seu cálculo, a terceira explica o objetivo da métrica e a quarta define seu conceito. . .	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATS	<i>Automatic Transfer Switch</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
DCiE	<i>Data Center Infrastructure Efficiency</i>
DJG	Disjuntor Geral
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surto
DRL	<i>Deep Reinforcement Learning</i>
EBT	Extra Baixa Tensão
EPR	Borracha Etileno-Propileno
FP	Fator de Potência
GMG	Grupo Motor Gerador
ICTs	<i>Information and Communication Technologies</i>
IDR	Interruptor Diferencial Residual
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IP	<i>Internet Protocol</i>
MOV	<i>Metal Oxide Varistor</i>
NA	Normal Aberto
NC	<i>Normally Closed</i>
NF	Normal Fechado
NO	<i>Normally Open</i>
PDU	<i>Power Distribution Unit</i>
PUE	<i>Power Usage Efficiency</i>

PVC	Policloreto de Vinila
QDA	Quadro de Distribuição A
QDAUX	Quadro de Distribuição Auxiliar
QDB	Quadro de Distribuição B
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QTA	Quadro de Transferência Automática
RMS	Root Mean Square
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i>
SDACI	Sistema de Detecção, Alarme e Combate de Incêndio
SF	Seção de Fase
SSR	<i>Solid State Relay</i>
STS	<i>Static Transfer Switch</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
TI	Tecnologia da Informação
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
USCA	Unidade de Supervisão de Corrente Alternada
VCA	Voltagem em Corrente Alternada
VCC	Voltagem em Corrente Contínua
XLPE	Polietileno Reticulado

LISTA DE SÍMBOLOS

I	Corrente Elétrica
C_{INFRA}	Carga Elétrica de Infraestrutura do Site
C_{TI}	Carga Elétrica dos Equipamentos de TI
I_c	Corrente do Circuito
$I_{disjutor}$	Corrente Elétrica do Disjuntor
I_{fase}	Corrente Elétrica de Fase
I_{linha}	Corrente Elétrica do Linha
L	Distância do Condutor Elétrico da Fonte até a Carga Elétrica
N	Condutor Neutro
IP	Potência Elétrica
P_A	Potência Elétrica Ativa
PE	Condutor de Proteção
PEN	Condutor Neutro/Proteção
Q	Potência Elétrica Reativa
QT	Valor da Queda de Tensão Tabelado
Q_T	Queda de Tensão
R	Resistência Elétrica
S	Potência Elétrica Aparente
t	<i>Tempo</i>
U	Tensão Elétrica
V_{fase}	Tensão de Fase
V_{linha}	Tensão de Linha
V_p	Tensão de Pico
ϕ	Defasagem Angular entre Tensão e Corrente
S_c	Seção do condutor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	20
1.2	Estrutura do Trabalho	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Classificações de um <i>data center</i>	22
2.1.1	<i>Tier 1</i>	22
2.1.2	<i>Tier 2</i>	23
2.1.3	<i>Tier 3</i>	24
2.1.4	<i>Tier 4</i>	26
2.2	Distribuição de Energia Através dos Quadros de Distribuição Elétrica	28
2.2.1	Potência Elétrica	28
2.2.1.1	Lei de Ohm	28
2.2.1.2	Potência Elétrica Ativa	28
2.2.1.3	Potência Elétrica Reativa	29
2.2.1.4	Potência Elétrica Aparente	29
2.2.1.5	Potência Elétrica Trifásica	30
2.2.2	Dispositivos de Proteção Elétrica	31
2.2.2.1	Disjuntores	31
2.2.2.1.1	<i>Curva de Ruptura de Disjuntores</i>	32
2.2.2.2	Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS)	33
2.2.2.3	Interruptor Diferencial Residual (IDR)	34
2.2.3	Dispositivos de Acionamento Elétrico	35
2.2.3.1	Relés	35
2.2.3.2	Contatores	36
2.2.3.3	Chave de Transferência Automática (ATS)	37
2.2.3.3.1	<i>Proposta de Modelo de um Chave de transferência Automática-Trifásica 220 Volts</i>	38
2.2.4	Dispositivos de Controle e Automação	40
2.2.4.1	Controlador Lógico Programável (CLP)	40
2.3	Grupo Motor Gerador (GMG) e Quadro de Transferência Automática (QTA)	40
2.3.1	Tipos de Transferência de GMG e Concessionária à Carga Elétrica	42
2.3.1.1	Transferência Aberta	42
2.3.1.2	Transferência em Rampa	42
2.3.1.3	Transferência Fechada	43
2.4	Fonte de Alimentação Ininterrupta (UPS)	43
2.4.1	Sistema de UPS On-line	43
2.4.2	Sistema de UPS Off-line	45

2.5	Unidade de Distribuição de Energia (PDU)	45
2.6	Sistema de Aterramento Elétrico	46
2.6.1	Esquemas de Aterramento Elétrico	47
2.6.1.1	Esquema TN	47
2.6.1.2	Esquema TT	49
2.6.1.3	Esquema IT	50
2.7	Dimensionamento de Conexões Elétricas	51
2.7.1	Dimensionamento da Seção dos Condutores	52
2.7.1.1	Capacidade de Condução de Corrente	53
2.7.1.2	Seção Mínima de Condutores	53
2.7.1.3	Dimensionamento da Seção do condutor Neutro e de Proteção	54
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATA CENTERS	56
3.1	<i>Data Center Infrastructure Efficiency</i>	56
3.2	<i>Power Usage Efficiency</i>	57
3.3	Conceitos para Métricas de Eficiência Energética em <i>Data Centers</i>	57
3.4	Aspectos Relevantes na Eficiência Energética	58
4	PROJETO ELÉTRICO DE UM QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO E DE UM QUADRO DE AUTOMAÇÃO PARA UM DATA CENTER	59
4.1	Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)	59
4.1.1	Dimensionamento do Circuito de Proteção Geral	60
4.1.1.1	Dimensionamento do Disjuntor Geral (DJG)	60
4.1.1.2	Barramento de Distribuição de Entrada e da Chave Seccionadora	61
4.1.1.3	Dimensionamento da Seção dos Condutores	61
4.1.2	Dimensionamento do Circuito de Proteção da <i>Uninterruptible Power Supply</i> (UPS)	62
4.1.2.1	Barramento de saída da UPS (Barramento Estabilizado)	63
4.1.2.2	Dimensionamento da Seção dos Condutores	64
4.1.2.3	Dimensionamento do Circuito de Proteção dos Racks	65
4.1.2.3.1	Dimensionamento da Seção dos Condutores	66
4.1.2.4	Dimensionamento da Proteção do Circuito Comandos Alimentado pela Saída da UPS	67
4.1.2.4.1	Dimensionamento da Seção dos Condutores	67
4.1.3	Dimensionamento do Circuito de Proteção Contra Surtos Elétricos	67
4.1.3.1	Dimensionamento da Seção dos Condutores	68
4.1.4	Dimensionamento do Circuito de Proteção do Quadro de Distribuição Auxiliar (QDAUX)	68
4.1.4.1	Dimensionamento da Seção dos Condutores	69
4.2	Quadro de Distribuição Auxiliar (QDAUX)	69
4.2.1	Circuito da Chave de Transferência Automática 1	70
4.2.1.1	Dimensionamento do Circuito de Proteção da Iluminação	70

4.2.1.1.1	<i>Dimensionamento da Seção dos Condutores</i>	71
4.2.1.2	Dimensionamento do Circuito de Proteção da Tomada de Serviço	71
4.2.1.2.1	<i>Dimensionamento da Seção dos condutores</i>	72
4.2.1.3	Circuito dos Forçadores de Ar	73
4.2.1.3.1	<i>Dimensionamento da Seção dos Condutores</i>	73
4.2.1.4	Dimensionamento do Circuito de Proteção dos Ares-condicionados	74
4.2.1.4.1	<i>Circuito de Acionamento dos Ares-condicionados</i>	74
4.2.1.4.2	<i>Dimensionamento da Seção dos Condutores</i>	75
4.2.2	Circuito da Chave de Transferência Automática 2	76
4.2.2.1	Circuito de Comandos da Fonte de 12 Volts	77
4.2.2.2	Circuito de Comandos da Fonte de 24 Volts	77
4.2.2.3	Entradas do Controlador Lógico Programável	78
4.2.2.4	Saídas do Controlador Lógico Programável	79
4.2.2.5	Circuito de Comandos do Acionamento dos Ares-condicionados	79
4.3	Métodos de Validação do Funcionamento e Manutenção dos Quadros de Distribuição Elétrica	80
4.3.1	Inspeção Visual	81
4.3.2	Inspeção de Tensão e Corrente Utilizando Cargas Elétricas Simuladas	81
4.3.3	Inspeção Termográfica com Cargas Elétricas Simuladas	81
4.3.4	Inspeção do Aperto das Conexões	82
5	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS	85
	ANEXO A – DIAGRAMA ELÉTRICO — QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)	89
	ANEXO B – DIAGRAMA ELÉTRICO — QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO AUXILIAR (QDAUX)	98

1 INTRODUÇÃO

Um *data center* pode ser definido como um centro de armazenamento e processamento de dados, o que já denota a ligação com um local físico utilizado para o controle de informações, assim como o compartilhamento dessas. Eles desempenham um papel crucial no mundo contemporâneo, a medida que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) se tornam cada vez mais otimizadas. Muitas pessoas percebem os avanços tecnológicos de maneira superficial e não questionam a possibilidade de que as informações disponíveis na internet possam ter origem em um local físico (GARCIA, 2013).

Essas informações não são armazenadas apenas em um único local, entretanto de forma descentralizada, ou seja, em diversos *data centers* espalhados pelo mundo. Esses locais físicos não estão isolados; ao contrário, estão interconectados por diferentes trajetórias, para garantir a existência de múltiplos caminhos entre suas interligações. Esse fato evidencia uma das características mais importantes de um *data center*: a redundância. A partir desse conceito, foram estabelecidos diversos requisitos para o projeto, planejamento e execução da construção desses centros de processamento de informações. Entre os pilares de um *data center* se encontra o fornecimento de energia elétrica, que permite o funcionamento desses *sites*¹ (FERRAZ, 2013).

Os *data centers* são considerados ambientes críticos, e isso se deve a vulnerabilidade de suas operações a qualquer problema técnico que possa impactar o armazenamento ou processamento de dados, os quais precisam ser ininterruptos. Nesse sentido, é essencial contar com alternativas para lidar com eventualidades, como interrupções de energia elétrica, bem como para mitigar interferências do ambiente externo que possam prejudicar essas operações. Isso inclui fatores ambientais, como variações de temperatura, umidade, riscos de incêndios e desastres naturais, assim como fatores humanos, como invasões e acessos não autorizados. Portanto, para lidar com todas essas circunstâncias, é imprescindível implementar um sistema de gerenciamento e supervisão contínuo desses *sites*. Isso envolve não apenas a manutenção regular dos equipamentos e infraestrutura, mas também a implementação de medidas de segurança física e lógica, como sistemas de detecção de incêndio, redundância de energia, controle de acesso e monitoramento por câmeras. Ademais, estratégias de planejamento de contingência e recuperação de desastres devem ser desenvolvidas e testadas regularmente para garantir a resiliência do *data center* diante de potenciais crises. A adoção de tecnologias emergentes, como a automação, também pode contribuir significativamente para aumentar a eficiência operacional e a segurança dos *data centers* (SANTOS, 2019a).

Podem existir diversos tipos de *data centers*, que em suma se diferenciam pelo tamanho físico e pela capacidade de inclusão de equipamentos de tecnologia da informação (TI). Entretanto, existe uma preocupação indivisível entre esses, sendo a eficiência energética, dado ao fato desses centros de processamento exigirem um montante relevante do fornecimento de energia elétrica, necessária para manter além dos equipamentos de TI, os diversos *facilities*². Tais *facilities* atendem principalmente as necessidades de resfriamento desses equipamentos, demandando mais um montante sobre as fontes

¹ Locais físicos: edifícios, estruturas ou instalações.

² Equipamentos disponíveis em um determinado local para atender às necessidades específicas de uma aplicação estrutural.

energéticas.

As técnicas de resfriamento dependem de uma variedade de outras infraestruturas e tecnologias para garantir um ambiente ideal para o funcionamento dos equipamentos de TI, que necessitam de condições ideais de temperatura e umidade, minimizando o risco de superaquecimento e danos a esses dispositivos.

Sabe-se bem que a energia elétrica está diretamente ligada a natureza, já que toda energia elétrica se forma a partir de recursos naturais, sejam esses, renováveis ou não-renováveis. Portanto, seguindo o mesmo engajamento dos avanços tecnológicos na área eletrônica e de telecomunicações, deve existir uma preocupação demasiada com os impactos ambientais gerados pela soma de toda globalização, ou seja, é necessário uma vertente de desenvolvimento de eficiência energética (ENERGÉTICA, 2023).

Pode parecer trivial, no entanto, uma lógica de extrema relevância é justamente o número de etapas pelas quais uma fonte de energia deve passar até ser convertida em energia elétrica utilizável. É importante ressaltar que há perdas em qualquer tipo de transformação na natureza. Portanto, quanto maior o número de processos envolvidos na geração de energia, maiores serão as perdas associadas. Além disso, é preciso considerar que cada etapa do processo de conversão de energia envolve custos adicionais, tanto em termos de recursos quanto em termos de eficiência. Por exemplo, em sistemas de geração de energia a partir de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis, cada etapa do processo, desde a extração até a conversão final em eletricidade, pode resultar em emissões de poluentes e impactos ambientais significativos (SUNBIRD, 2020).

Os *data centers* possuem certificação específica em relação ao escopo de nível de infraestrutura, denominada como *tier*, que em inglês significa “camada” ou “nível”. A organização que concede esses títulos é a *Uptime Institute Professional Services*, que iniciou esse trabalho em meados da década de 90 (IV et al., 2008).

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho visa apresentar objetivamente as estruturas de um projeto de distribuição elétrica para *data centers* e abordar de forma teórica conceitos de eficiência energética para tais.

Um *site* de um *data center* é desenvolvido mediante diferentes projetos e sistemas, integrados para garantir uma infraestrutura funcional e ininterrupta. Dessa forma, são apresentadas as normas e regulamentos necessários para a execução das principais etapas de um projeto elétrico.

Portanto, é detalhado o funcionamento dos equipamentos utilizados nos quadros de distribuição elétrica, os quais desempenham um papel fundamental na proteção, acionamento e controle dos diversos dispositivos que dependem de energia elétrica em um *data center*. A finalidade de elucidar as funções destes dispositivos, permite demonstrar sua aplicação no projeto de três quadros de distribuição elétrica interdependentes. Além disso, são realizadas análises do projeto de distribuição elétrica (conforme os Anexos A e B), propondo métodos para a validação do funcionamento dos quadros de distribuição. Esses métodos utilizam técnicas e equipamentos específicos, considerando a criticidade das operações em um *data center*.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Inicialmente, no Capítulo 2, são tratadas as características de infraestrutura de um *data center* de forma geral, tais características se referem principalmente aos equipamentos disponíveis para manter a operação do *data center* de maneira ininterrupta. Também são especificados os diferentes níveis de infraestrutura de um *data center*, com ênfase nos sistemas relacionados a distribuição elétrica.

Após essa etapa, são apresentados de forma teórica, os conceitos e equações necessárias para desenvolver um projeto de distribuição elétrica. Em seguida, são apresentados diversos dispositivos elétricos, que compõem um quadro de distribuição elétrica. As funções desses foram divididas em dispositivos de proteção, de acionamento, e de controle e automação. Cada dispositivo é especificado conforme seu funcionamento e aplicação, dessa forma, também é mostrado como um mesmo dispositivo pode ter diferentes características, a depender de suas especificidades de capacidade de condução de corrente e de tensão de alimentação, por exemplo.

Ainda são especificados os sistemas interligados ao projeto dos quadros de distribuição elétrica. O primeiro deles é o grupo motor gerador (GMG), cuja estrutura e componentes são caracterizados, além da atuação do sistema do GMG em conjunto com o quadro de transferência automática (QTA). Em seguida, é apresentado o funcionamento do sistema de fonte de alimentação ininterrupta (*Uninterruptible Power Supply* — UPS), no qual são caracterizados seus componentes e funcionamento, quando existe a interrupção de energia na entrada. Esses sistemas desempenham um papel fundamental no fornecimento de energia elétrica do *data center*, entretanto, são inseridos em partes distintas do projeto de distribuição elétrica. Após isso, é especificado o funcionamento e as variações de uma Unidade de Distribuição de Energia (PDU).

Por fim, são apresentados os sistemas de aterramento normatizados pela ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), tal que são demonstrados os diferentes esquemas de aterramento e a importância desses na distribuição de energia elétrica em uma *data center*. Após isso, é apresentado como devem ser dimensionados os diferentes condutores que serão responsáveis pela distribuição da energia até as cargas elétricas do *data center*.

No Capítulo 3, são especificados os conceitos teóricos relacionados a eficiência energética, comparando diferentes métricas para poder ser realizado o estudo de eficiência energética em alguns sistemas específicos de *data centers*.

O Capítulo 4 ilustra a aplicação de todos os conceitos apresentados no Capítulo 2 em um projeto de distribuição elétrica de um pequeno *data center*. Nesse capítulo, define-se o dimensionamento dos diversos componentes de proteção e acionamento para cada circuito elétrico que integra o sistema de distribuição elétrica. Ademais, são abordados os sistemas de controle e automação necessários para o monitoramento e controle desse *data center*. Os diagramas dos quadros de distribuição de tal projeto elétrico, se encontram no Anexo A e Anexo B.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões, que evidenciam as principais características do projeto desenvolvido e oferece algumas perspectivas futuras para estudos de eficiência energética em *data centers*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CLASSIFICAÇÕES DE UM *DATA CENTER*

A classificação de um *data center* é normatizada em relação a sua infraestrutura e através dos recursos disponíveis para lidar principalmente com casos de paradas ou falhas na operação. Em resumo, quanto mais alto o nível, maior o nível de redundância da infraestrutura e menor o tempo de paradas (*downtime*¹) por falhas. A redundância mencionada refere-se exatamente à duplicação ou triplicação de equipamentos de sistemas críticos, fundamentais para o pleno funcionamento de um *data center*, mediante aos seguintes padrões (IV et al., 2008):

- *Tier 1: Data Center Sem Redundâncias (Básico);*
- *Tier 2: Data Center com Componentes Redundantes*
- *Tier 3: Data Center com Manutenção e Operação Simultânea;*
- *Tier 4: Data Center Tolerante a Falhas.*

2.1.1 *Tier 1*

Essa certificação diz respeito a estrutura mais básica para comportar um *data center*, onde não existe nenhum tipo de redundância quanto aos principais itens de manutenção de funcionamento de um *site*. Logo, sua estrutura é constituída de um único caminho para a chegada de energia da concessionária ao *data center*, e um único grupo motor gerador (GMG), com capacidade de funcionamento limitada. Assim como, uma única fonte de alimentação ininterrupta — *Uninterruptible Power Supply* (UPS), sendo o caminho da concessionária/GMG aos equipamentos de TI do *data center*, e tem o intuito de separar ambos para que qualquer alteração da concessionária/GMG não seja transmitida a esses equipamentos. Logo, a UPS atua sob qualquer tipo de pico de corrente ou tensão, assim como subtensões ou subcorrentes, protegendo os equipamentos de qualquer interrupção em seu pleno funcionamento. O *Tier 1* também conta com um sistema de refrigeração dedicado exclusivamente, entretanto, esse fica condicionado ao circuito concessionária/GMG, por ser um *facility* que pode enfrentar curtas quedas de energia sem muitos problemas (IV et al., 2008).

É importante ressaltar que qualquer tipo de equipamento, seja elétrico ou mecânico, depende diretamente de paradas para manutenção preventiva ou corretiva. E para o *Tier 1*, um dos impactos causados seria a parada total da operação desse *data center*, retomando sua atividade apenas no término da manutenção. Outra possibilidade na parada de operação seria o fator humano em relação à infraestrutura, já que qualquer descuido em relação à gestão de recursos (energia elétrica, combustível do GMG, entre outros) pode acarretar parada total das atividades desse *data center*. Sem dúvida, há a possibilidade de fatores externos interferirem significativamente na rotina do *data center*. Por exemplo, se os únicos cabos de entrada de energia da concessionária forem danificados por algum

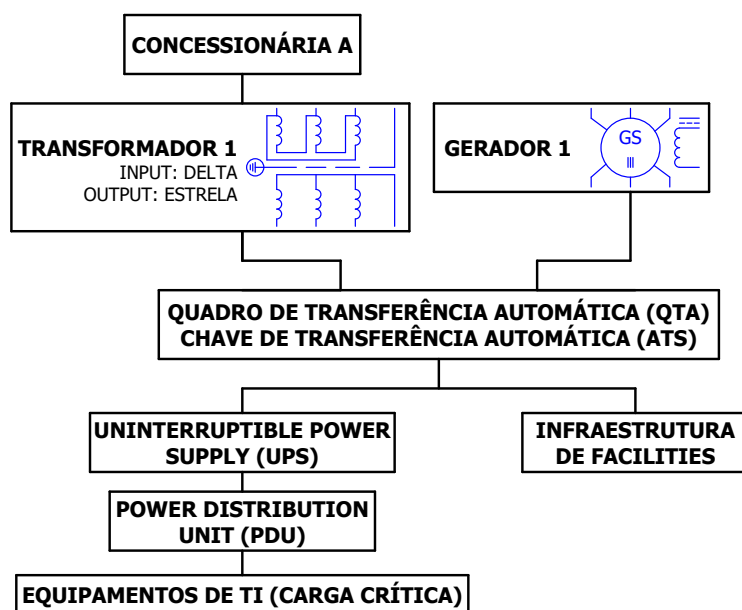
¹ Tempo de inatividade

acidente, o GMG pode não conseguir manter o fornecimento de energia pelo tempo necessário até que a manutenção corretiva nos cabos seja concluída. Isso ocorre porque o nível das células de combustível do GMG pode ser limitado durante esse período de manutenção (FACCIONI... , 2016).

Portanto, essa classificação não apresenta nenhum tipo de redundância, entretanto é pouco adotada, pois os custos para investimentos em outras classificações são válidos para evitar paradas de operação de um *site*.

A topologia de distribuição energética de um *data center Tier 1*, é mostrada na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Topologia Elétrica de um *data center Tier 1*. Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura básica, com um único ponto de entrada de energia e único caminho de distribuição de energia.



Fonte: Adaptada de (IV et al., 2008).

Em geral, *data centers Tier 1*, sofrem com 1,2 falhas de interrupção por ano, seja essa por falha dos equipamentos de TI ou de distribuição do sinal elétrico de entrada desses. Logo, isso impacta diretamente a taxa de parada não planejada anual que é 28,8 horas. Assim, ele permanece em disponibilidade percentual de 99,67% ao ano e passam por duas paralisações para manutenções ou reparos em um ano.

O ideal é que a percentagem de disponibilidade de um *data center* atinja o escopo de cinco noves (“*five nines*”), ou seja, que tenha disponibilidade 99,999% anualmente.

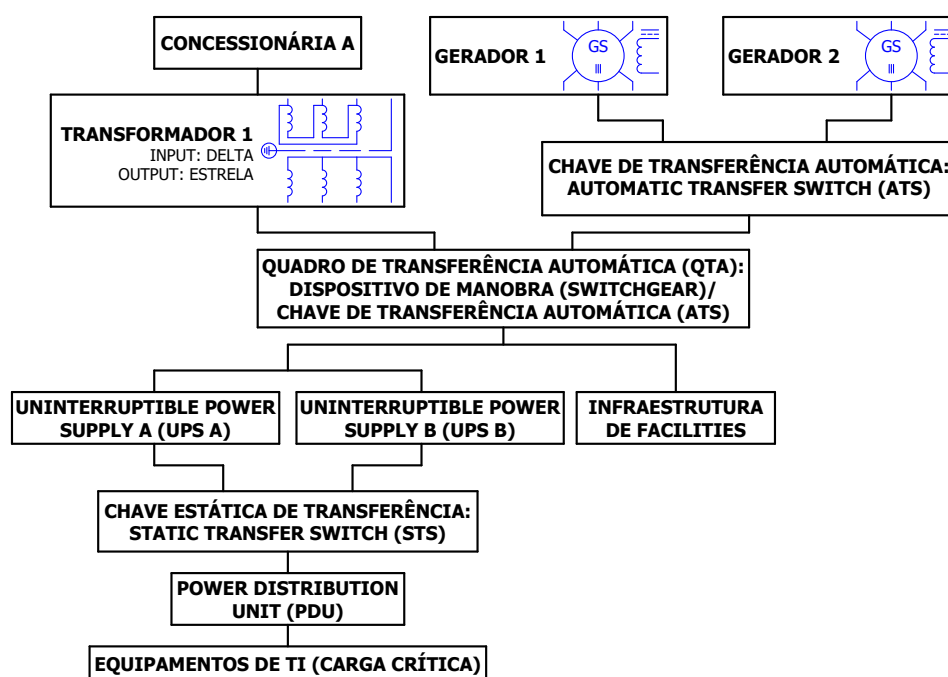
2.1.2 Tier 2

Essa certificação se caracteriza por possuir alguns tipos de redundâncias relacionadas ao GMG, cujo qual, deve ser redundante em suas células de combustível que devem ser separadas para cada GMG. Os módulos de UPSs também devem ser redundantes, assim existirá no mínimo duas fontes de energia armazenada, que para UPS é utilizado conjuntos de baterias (GARCIA, 2013).

Para o *Tier 2*, em casos de manutenção, é possível fazer a retirada de alguns componentes, sem haver *downtime*. Entretanto, o caminho para a distribuição de energia é único para cada dispositivo de TI, logo, a manutenção segura da rede de distribuição elétrica interna do *data center*, exige a parada de operação dos equipamentos de operação crítica. Dada essa situação, é possível que existam falhas não planejadas desses dispositivos, que impactem no ambiente crítico de operação e causando perdas nas operações dos equipamentos de TI (IV et al., 2008).

A topologia de distribuição energética de um *data center Tier 2* é mostrada na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Topologia Elétrica de um *data center Tier 2*. Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura com alguns componentes redundantes, com um único ponto de entrada de energia e único caminho de distribuição de energia.



Fonte: Adaptada de (IV et al., 2008).

Em geral, *data centers Tier 2*, sofrem apenas com uma parada não planejada por ano, seja essa por falha dos equipamentos de TI ou de distribuição do sinal elétrico de entrada desses. Logo, isso impacta diretamente a taxa de parada não planejada anual que é 22 horas, permanecendo em disponibilidade percentual de 99,75% ao ano, passando por 1,5 paralisações para manutenções ou reparos em um ano, ou seja, 3 paralisações a cada 2 anos.

2.1.3 Tier 3

Esta certificação se caracteriza por incorporar diversos princípios de aprimoramento em comparação com o *Tier 3*, sendo seu principal benefício a capacidade de manter a operação integral de toda a infraestrutura do *site* de forma simultânea a manutenções. Uma consideração adicional é que alguns projetos de *data centers Tier 3*, optam pelo fornecimento de energia elétrica provenientes de concessionárias distintas. Estas fontes operam simultaneamente na distribuição de energia no ambiente do *data center*. Consequentemente, esse aspecto se mostra crucial diante de eventuais falhas no

fornecimento de energia, visto que tais situações são antecipadas em projetos de *data centers* (IV et al., 2008).

Existe redundância de um caminho para a rede de distribuição elétrica interna, então existem dois circuitos de distribuição para cada dispositivo de TI. Um dos caminhos é designado como circuito A, enquanto o redundante é designado como circuito B. Ambos os sistemas também são monitorados para ativar os GMGs em caso de interrupção do fornecimento da concessionária de energia equipados com UPSs redundantes para garantir a distribuição contínua de energia aos equipamentos de TI.

Logicamente, os equipamentos de TI tem intrinsecamente a sua topologia elétrica, uma chave de transferência automática, chamada de *Automatic Transfer Switch* (ATS). Tal equipamento prioriza o circuito A, entretanto, em qualquer interrupção no fornecimento desse sinal, a entrada de alimentação é automaticamente comutada para o circuito B, não ocorrendo parada de operação, para esse caso. Isso só é possível graças a miniaturização de circuitos eletrônico que possibilitam a rápida comutação sem que o circuito de rede ou processamento do equipamento sofra com a falta de sinal de alimentação, o que é denominado *dual power* (dupla alimentação).

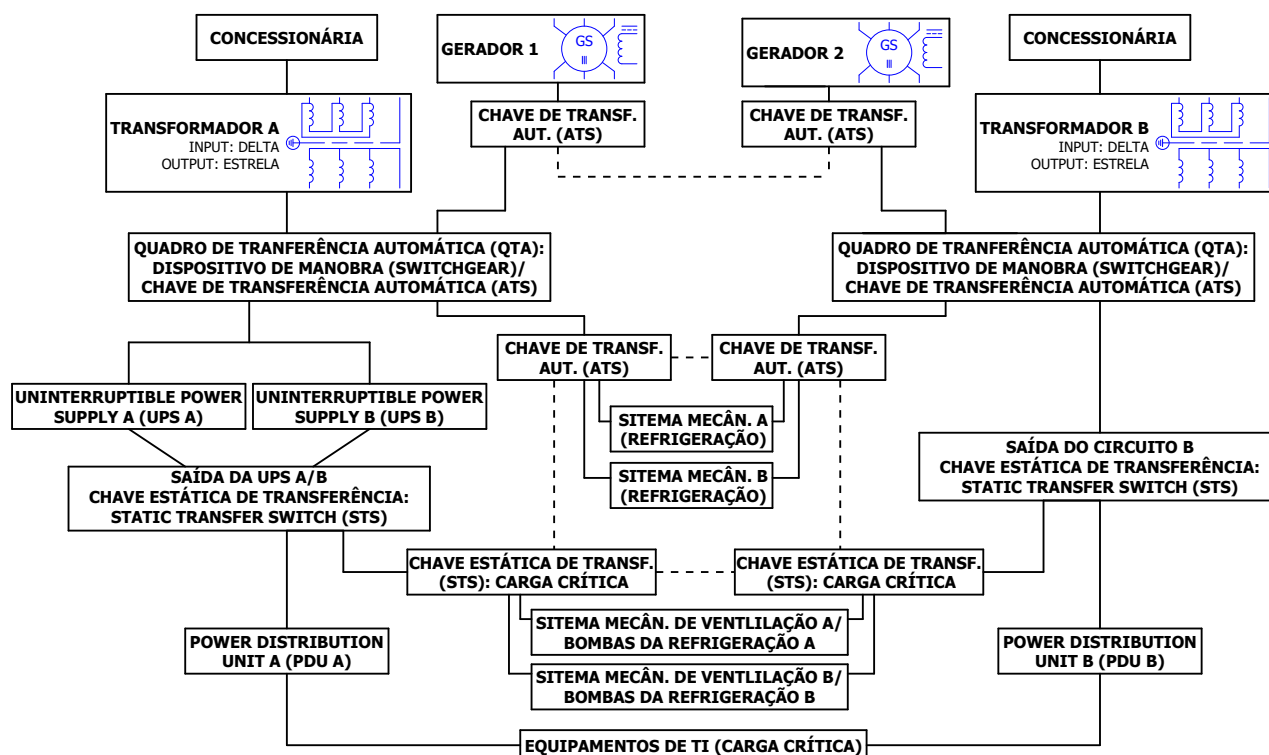
Quanto ao sistema de refrigeração do ambiente onde se encontram os equipamentos de TI, também existem redundâncias, que permitem a parada para manutenção sem que haja parada desses sistemas. Na prática, também é realizado o revezamento (rodízio) desses dispositivos de refrigeração, denotando exatamente o projeto ser superdimensionado, para que em casos de falhas ou perda do equipamento, a sua redundância possa atuar comumente.

É crucial ressaltar que essa classificação também é suscetível a fatores externos, e como citado no *Tier 1*, sua parada de operação pode ocorrer se os cabos da entrada de energia do *site* se romperem e os GMGs extinguirem a capacidade de suas células de combustível.

Essa topologia oferece benefícios relevantes em relação ao investimento do projeto e execução, sendo a mais comum entre os *data centers* atuais.

A topologia de distribuição energética de um *data center Tier 3*, é mostrada na Figura 2.3

Figura 2.3 – Topologia Elétrica de um *data center* Tier 3. Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura que apresenta todos os componentes em redundância, incluindo dois pontos de entrada de energia elétrica e caminhos de distribuição de energia também redundantes, que se estendem até os equipamentos de carga crítica.



Fonte: Adaptada de (IV et al., 2008).

Os *data centers* Tier 3, podem ser mantidos em pleno funcionamento durante a manutenção de seus equipamentos redundantes e não são necessárias paradas planejadas, tornando os *facilities* com maior desempenho. Assim, ele tem disponibilidade percentual de 99,98% ao ano, (IV et al., 2008) e passa por 4 horas de paralisações não planejadas a cada 2,5 anos.

2.1.4 Tier 4

Essa é a certificação é classificada como a mais elevada de um *data center*, tal que pode ser caracterizada como altamente tolerante a falhas (IV et al., 2008).

Um *data center* classificado como Tier 4, adota como um padrão o fornecimento de energia elétrica através de concessionárias distintas. O sinal de entrada de energia do *data center* é dividido em circuitos completamente separados, os quais seguem por sistemas de gerenciamento (quadros de distribuição elétrica) e distribuição distintos. Após a saída dos transformadores rebaixadores, os sinais elétricos são distribuídos por dois quadros gerais de Baixa Tensão (QGBT), os quais são fisicamente separados, principalmente por razões de segurança. Assim, é imprescindível que as piores situações sejam previstas em projetos Tier 4, a fim de evitar enfrentar períodos de *downtime* (IV et al., 2008).

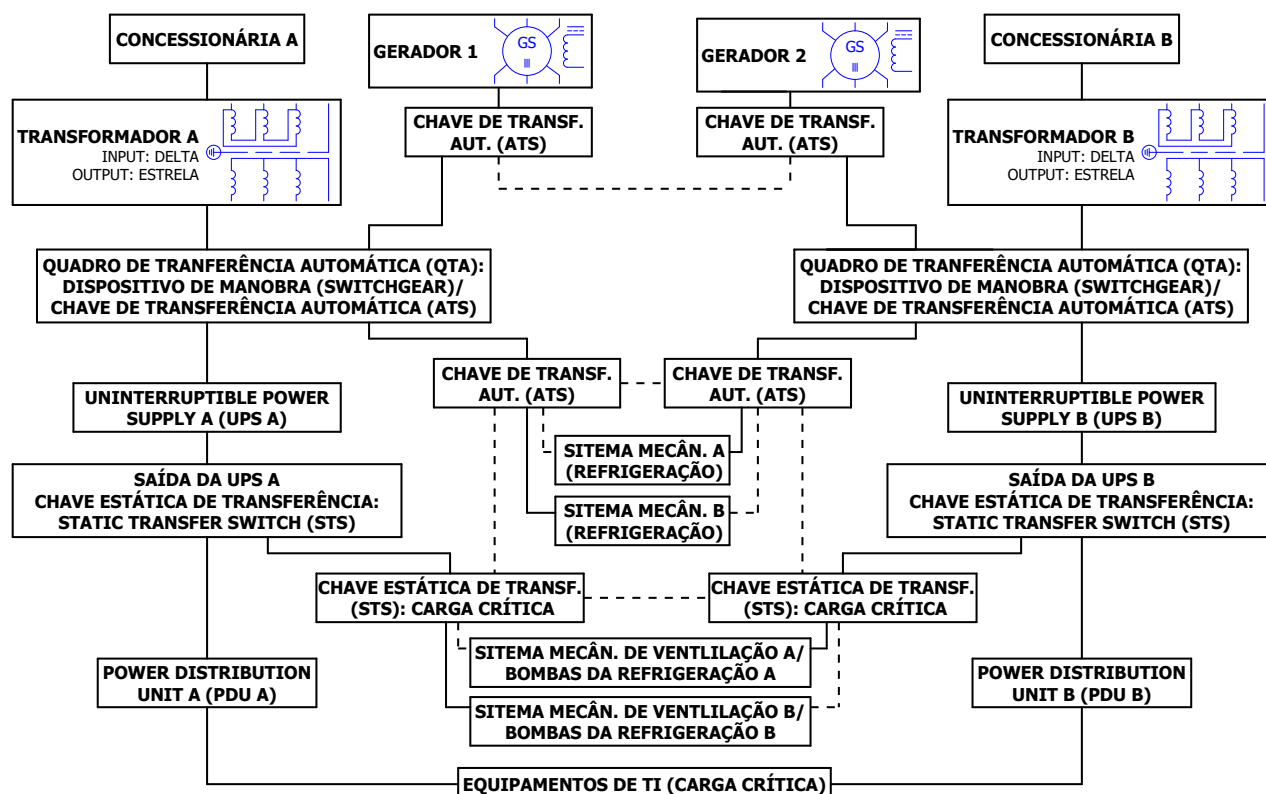
Uma diferença relevante dessa classificação é a redundância de conjuntos de sistemas mecânicos de refrigeração, isso quer dizer que esses, além de redundantes, estão completamente separados de forma física. Portanto, para os casos em que haja necessidade de parada para manutenção preventiva, alguns

aparelhos de refrigeração podem ser paralisados, sem que haja prejuízos consideráveis as condições pré-estabelecidas de funcionamento desses sistemas (FACCIONI... , 2016).

Vale ressaltar que os GMGs dessa classificação não devem ter limitação quanto ao tempo de operação, a gestão de mais um GMG em rede é necessária para que em casos de falhas de super aquecimento, quebra mecânica ou até falhas na parte elétrica, a carga do *data center* seja comutada para um GMG em condições de funcionamento. Os GMGs para esse tipo de aplicação são muito robustos e contam com diversos sistemas para prever problemas precocemente, assim para o projeto de um *data center Tier 4* já deve ser previsto alternativas para contornar falhas nesses sistemas secundários de fontes de alimentação (FACCIONI... , 2016).

A topologia de distribuição energética de um *data center Tier 4* é mostrada na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Topologia Elétrica de um *data center Tier 4*. Essa topologia é caracterizada por uma infraestrutura que apresenta todos os componentes em redundância e fisicamente separados, incluindo dois pontos de entrada de energia elétrica de concessionárias distintas e caminhos de distribuição de energia também redundantes, que se estendem até os equipamentos de carga crítica.



Fonte: Adaptada de (IV et al., 2008).

Os *data centers Tier 4*, também podem ser mantidos em pleno funcionamento durante a manutenção de seus equipamentos redundantes e não são necessárias paradas planejadas, tornando os *facilities* com maior desempenho. Esse tipo de *data center* se encontra em disponibilidade percentual de 99,99% ao ano, (IV et al., 2008) e passa por 0,8 horas de paralisações não planejadas a cada ano.

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DOS QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA

A distribuição de energia elétrica em um *data center* é centralizada em uma sala de distribuição elétrica, a qual concentra um conjunto de quadros de distribuição elétrica, estruturados para dividir mais de uma fonte elétrica em circuitos protegidos, individualizadamente, por dispositivos dimensionados mediante a demanda de potência desses circuitos.

Os quadros de distribuição elétrica podem assumir dimensões e aplicações específicas para cada *data center*, isto está diretamente relacionado a dimensão e a complexidade de projeto do *site*. Esse trabalho se restringe a distribuição elétrica de baixa tensão, definida pela (BRASIL... , 2008) como a tensão acima de 50 volts em corrente alternada ou 120 volts em corrente contínua, e abaixo ou igual a 1000 volts em corrente alternada ou 1500 volts em corrente contínua. É de extrema necessidade normatizar os vários padrões de distribuição de energia elétrica e construção de quadro de distribuição elétrica através das normas ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004) e Norma Regulamentadora Número 10 (BRASIL... , 2008), já que o funcionamento dos *data centers* é crítico e os quadros de distribuição devem ser operação ininterrupta e redundante.

2.2.1 Potência Elétrica

2.2.1.1 Lei de Ohm

A equação da potência em um circuito elétrico pode ser derivada da Lei de Ohm. A Lei de Ohm estabelece a relação entre tensão (U), corrente (I) e resistência (R) em um circuito resistivo (SCHMIDT, 2023). A Lei de Ohm é descrita pela equação (2.1):

$$U = I R \quad (2.1)$$

onde a tensão, a corrente e a resistência são dadas em volt (V), ampère (A) e ohm (Ω), respectivamente.

A equação da potência elétrica (P) cuja unidade de medida é Watt [W], é dada pela (2.2):

$$P = U I \quad (2.2)$$

As equações da tensão e da potência são fundamentais na análise e no projeto de circuitos elétricos, permitindo calcular a potência consumida ou dissipada em diversos componentes do circuito.

2.2.1.2 Potência Elétrica Ativa

A potência ativa, denotada por P_A , é um dos componentes fundamentais da potência elétrica em um sistema de corrente alternada. É a porção da potência, efetivamente convertida em trabalho útil, como calor, luz, movimento mecânico, etc.

Matematicamente, a potência ativa em um circuito elétrico é calculada pela multiplicação da corrente pela tensão eficaz (RMS) e pelo cosseno do ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão. Em sistemas de corrente alternada, onde a corrente e a tensão podem estar defasadas devido a presença de elementos reativos (como indutores e capacitores), o cosseno desse ângulo de defasagem é definido como fator de potência (SCHMIDT, 2023). Conforme apresentado na equação (2.3):

$$P_A = U I \cos(\phi) \quad (2.3)$$

Também é possível escrever a potência ativa em termos da potência aparente e da potência reativa, como na equação (2.4) a seguir. S é a potência aparente em volt-ampères [VA] e Q é a potência reativa em volt-ampères reativos [VAr].

$$P_A = \sqrt{(S^2 - Q^2)} \quad (2.4)$$

Em circuitos puramente resistivos, onde a corrente e a tensão estão em fase, o fator de potência ou $\cos \phi$ é igual a 1 e a potência ativa é igual à potência aparente. No entanto, em circuitos que contêm elementos reativos, o fator de potência é menor que 1, resultando em uma potência ativa menor que a potência aparente.

2.2.1.3 Potência Elétrica Reativa

A potência reativa, denotada por Q , é outro componente importante da potência elétrica em sistemas de corrente alternada. Ao contrário da potência ativa, a potência reativa não realiza trabalho útil diretamente, mas é necessária para a operação de dispositivos elétricos que possuem elementos reativos, como indutores e capacitores. A potência reativa é medida em volt-ampères reativos.

Em um sistema de corrente alternada, a potência reativa surge devido a troca de energia entre os campos elétrico e magnético nos elementos reativos do circuito. Essa energia é armazenada temporariamente nos campos elétrico e magnético dos componentes reativos durante metade do ciclo de corrente alternada e, em seguida, é devolvida ao circuito durante a outra metade do ciclo. Como resultado, a potência reativa oscila entre o circuito e os dispositivos reativos, sem ser utilizada para realizar trabalho útil (SCHMIDT, 2023).

A potência reativa é representada matematicamente como a diferença entre a potência aparente e a potência ativa em um circuito. A potência reativa pode ser tanto indutiva quanto capacitiva, dependendo dos elementos reativos presentes no circuito, como mostrado na equação (2.5):

$$Q = U I \sin(\phi) \quad (2.5)$$

Também é possível mostrar a potência reativa em termos da potência aparente e da potência ativa, como na equação (2.6):

$$Q = \sqrt{(S^2 - P_A^2)} \quad (2.6)$$

2.2.1.4 Potência Elétrica Aparente

A potência aparente S , é um dos parâmetros fundamentais em sistemas de corrente alternada. Ela é a combinação vetorial da potência ativa e da potência reativa, refletindo a magnitude total da energia elétrica presente em um circuito (SCHMIDT, 2023).

Matematicamente, a potência aparente pode ser calculada usando a equação (2.7):

$$S = UI \quad (2.7)$$

onde U é a tensão eficaz (RMS) e I é a corrente eficaz (RMS). A potência aparente também pode ser dada em termos da potência ativa e da potência reativa como na equação (2.8):

$$S = \sqrt{(P_A^2 + Q^2)} \quad (2.8)$$

A potência aparente é uma medida da capacidade total do sistema de fornecer ou consumir energia elétrica e é a soma vetorial das potências ativa e reativa. Ela representa a magnitude da carga elétrica que está sendo fornecida pelo sistema elétrico em um determinado momento, independentemente dessa energia ser realmente utilizada para realizar trabalho útil (potência ativa) ou apenas trocada entre os elementos reativos do circuito (potência reativa).

2.2.1.5 Potência Elétrica Trifásica

Um sistema trifásico é uma configuração elétrica com três tensões alternadas, normalmente chamadas de fase A, fase B e fase C ou fase R, fase S e fase T. Essas tensões estão defasadas uma em relação à outra por 120 graus.

No sistema trifásico em estrela, a tensão entre cada fase e o ponto neutro (ou centro da estrela) é conhecida como tensão de fase (V_{fase}), como representado na Figura 2.5. A tensão entre quaisquer duas fases é chamada de tensão de linha (V_{linha}), tal como nas imagens abaixo (SEMENSATO, 2010).

Figura 2.5 – Representação dos componentes de um sistema trifásico em estrela. (a) Representa as tensões de fase e de linha. (b) Representa a defasagem entre as tensões de fase.



Fonte: Autoria Própria.

Logo, é possível inferir o cálculo de tensão de linha, a partir das informações apresentadas na Figura 2.5b, como na equação (2.9):

$$\sin 60^\circ = \frac{1}{2} \frac{V_{linha}}{V_{fase}} \quad (2.9)$$

Portanto, como $\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, tem-se:

$$V_{linha} = \sqrt{3} V_{fase} \quad (2.10)$$

Se forem fornecidos os valores de tensão e corrente de fase, a potência trifásica total, S , pode ser calculada pela equação (2.11):

$$S = 3 V_{fase} I_{fase} \quad (2.11)$$

Analogamente, a potência trifásica total, S , pode ser inferida a partir das tensões e correntes de linha, como especificado na equação (2.12):

$$S = \sqrt{3} V_{linha} I_{linha} \quad (2.12)$$

2.2.2 Dispositivos de Proteção Elétrica

2.2.2.1 Disjuntores

Um disjuntor é um dispositivo elétrico fundamental em sistemas de distribuição de energia, sendo utilizado para proteger circuitos elétricos contra sobrecargas e curtos-circuitos. Sua aplicação abrange uma ampla gama de contextos, desde instalações residenciais até ambientes industriais e comerciais. O disjuntor desempenha um papel crucial na segurança elétrica, interrompendo o fluxo de corrente quando condições anormais são detectadas, evitando danos aos equipamentos e reduzindo o risco de incêndios. O funcionamento básico de um disjuntor envolve a detecção de correntes anormais e a interrupção do circuito para prevenir danos. Geralmente, o disjuntor possui um componente bimetálico ou um relé térmico, em que esse componente é sensível ao aumento da temperatura causado pelo excesso de corrente. O disjuntor é ajustado para uma corrente nominal específica (descrita no próprio dispositivo), que representa o limite seguro de corrente que o circuito pode suportar, se houver uma sobrecarga de corrente, o componente bimetálico se aquece e aumento de temperatura faz com que o bimetálico se curve, desencadeando o mecanismo de desligamento. Na Figura 2.6, são mostrados exemplos de mini disjuntores (frequentemente mais utilizados) e suas variações para aplicações em diversos tipos de circuitos elétricos, seja este circuito elétrico monofásico (alimentado por uma fase), bifásico (alimentado por duas fases), trifásico (alimentado por três fases) ou tetrapolar (alimentado por três fases e utiliza seccionamento do neutro) (WEG, 2023c).

Figura 2.6 – Representação simbólica e física de disjuntores, respectivamente. Na simbologia dos disjuntores, cada ponto de conexão é identificado por um número específico. A aplicação de cada tipo de disjuntor varia conforme o circuito elétrico em questão, que pode ser monopolar, bipolar, tripolar ou tetrapolar.



Fonte: Adaptação de (WEG, 2023c).

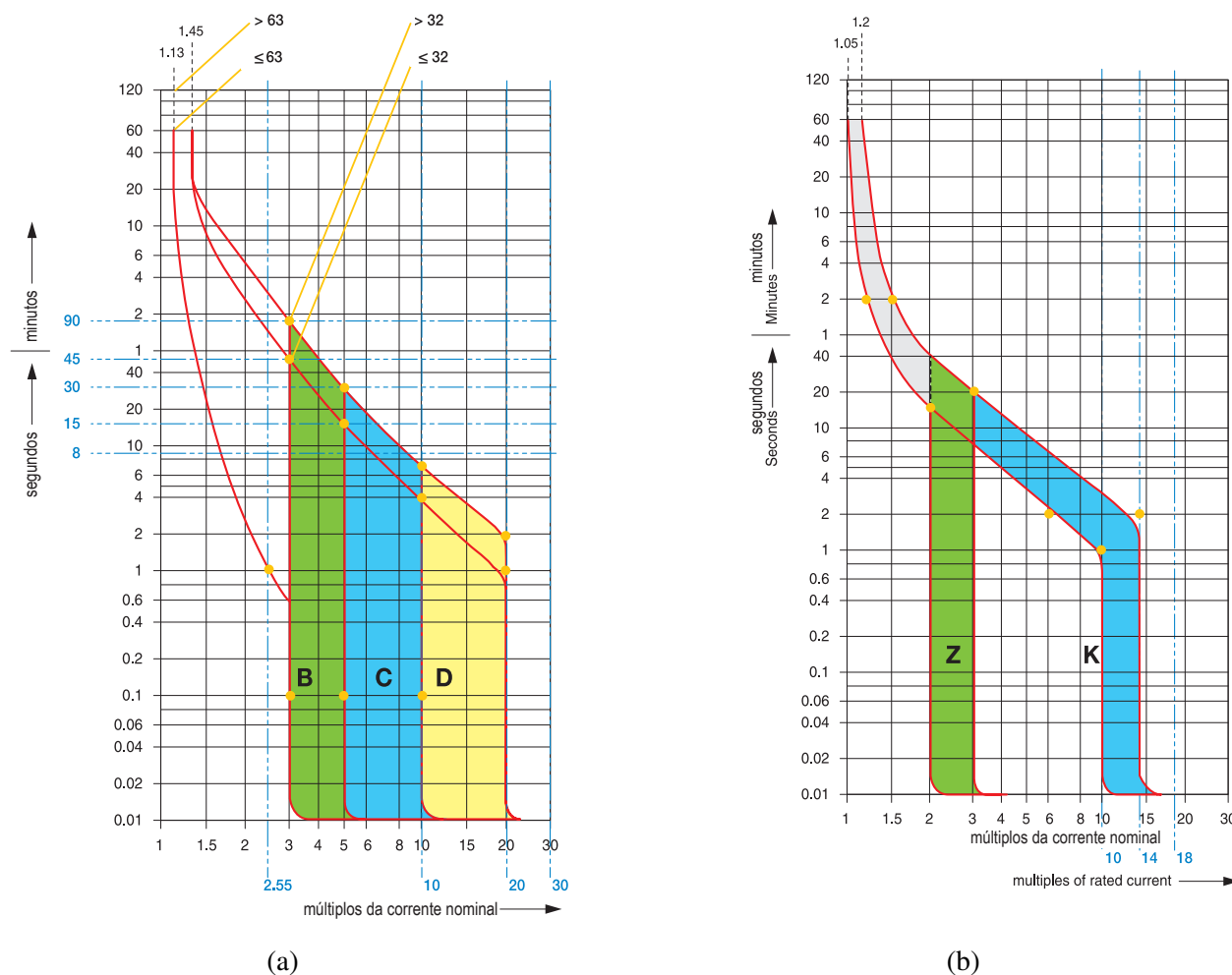
2.2.2.1.1 Curva de Ruptura de Disjuntores

A curva de ruptura ou de disparo de disjuntores se caracteriza pelo tempo determinado em que o disjuntor suporta uma corrente acima da sua nominal. Essa curva de ruptura é normatizada pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC-*International Electrotechnical Commission*) através das normas (COMMISSION, 2015); (COMMISSION, 2016), os fabricantes de disjuntores aplicam as classificações dispostas na norma para cada tipo diferente de disjuntor, tal que a classificação é feita por um código alfabético:

- Curva Z: O disjuntor atua a partir de 2 a 3 vezes do aumento da sua corrente nominal;
- Curva B: O disjuntor atua a partir de 3 a 5 vezes do aumento da sua corrente nominal, destinados principalmente para a proteção de circuitos com características resistivas ou em situações onde há grandes distâncias de cabos envolvidos;
- Curva C: O disjuntor atua a partir de 5 a 10 vezes do aumento da sua corrente nominal, destinados para a proteção de circuitos com instalação de cargas elétricas indutivas;
- Curva K: O disjuntor atua a partir de 10 e 14 vezes do aumento da sua corrente nominal, destinado para a aplicação em motores e transformadores;
- Curva D: O disjuntor atua a partir de 10 e 20 vezes do aumento da sua corrente nominal, destinado para correntes de partida de equipamentos.

A maioria dos fabricantes de disjuntores disponibiliza em seus catálogos, as curvas de disparo do tempo (segundos) em relação ao fator multiplicativo do excesso a corrente. Assim, é possível prever o tempo mínimo e máximo de atuação do disjuntor a partir do valor da corrente que excede a nominal descrita no dispositivo, considerando os parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas aplicáveis, como na Figura 2.7 (ABB, 2014).

Figura 2.7 – Representação dos Tipos de Curvas de Disparos de um Disjuntor. (a) Curvas de disparo do tipo B, C e D (b) Curvas de disparo do tipo Z e K.



Fonte: (ABB, 2014).

Um exemplo para a aplicação das curvas mostradas na Figura 2.7 é um disjuntor curva C de 32A cuja corrente consumida pela carga é de 5 vezes a nominal do disjuntor, resultando em um corrente total de 160A e tempo de atuação do disjuntor de 15 até 30 segundos. Portanto, compreender o funcionamento da aplicação dessa classificação é vantajoso para a proteção adequada dos equipamentos em uma instalação elétrica, já que existem casos de cargas elétricas em que, no período transitório, a corrente pode ser muitas vezes maior que a corrente de trabalho (corrente nominal).

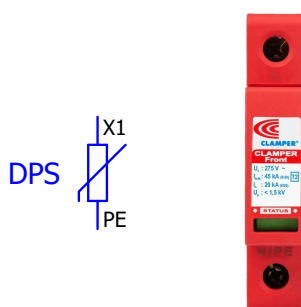
2.2.2.2 Dispositivo de Proteção Contra Surto (DPS)

É utilizado para proteger equipamentos elétricos e eletrônicos contra danos causados por surtos de tensão. Os surtos podem ser originados por descargas atmosféricas, manobras na rede elétrica,

operação de equipamentos elétricos, entre outros. Os DPS são frequentemente aplicados em instalações residenciais, comerciais e industriais para prevenir avarias e garantir a integridade dos dispositivos conectados à rede elétrica. O funcionamento de um DPS envolve a detecção e a dissipação controlada de surtos de tensão (PAULINO et al., 2016).

Esse dispositivo é subdividido em Varistor ou Dispositivo de Descarga, o componente principal de um DPS é geralmente um varistor de óxido de metal, MOV — *Metal Oxide Varistor*, como na Figura 2.8. Esse componente possui uma alta resistência elétrica em condições normais, mas torna-se altamente condutor quando uma sobretensão e permite a dissipação de energia para o aterramento (o varistor, ao se tornar condutor durante uma sobretensão, cria um caminho de baixa resistência para a corrente excessiva fluir em direção à terra e isso evita que a sobretensão atinja os dispositivos protegidos). Esse dispositivo conta com o estabelecimento automático (após a dissipação do surto, o DPS se restabelece automaticamente e está pronto para proteger novamente contra futuros surtos) e indicadores de *status*² (o DPS possui indicadores visuais que informam sobre o estado do dispositivo, indicando se está operacional ou se já foi submetido a surtos significativos e precisa ser substituído).

Figura 2.8 – Representação simbólica e física de um DPS, respectivamente. Na simbologia do DPS, "X1" é a conexão com o potencial e "PE" é a conexão com o aterramento do sistema elétrico.



Fonte: Adaptada de (PAULINO et al., 2016).

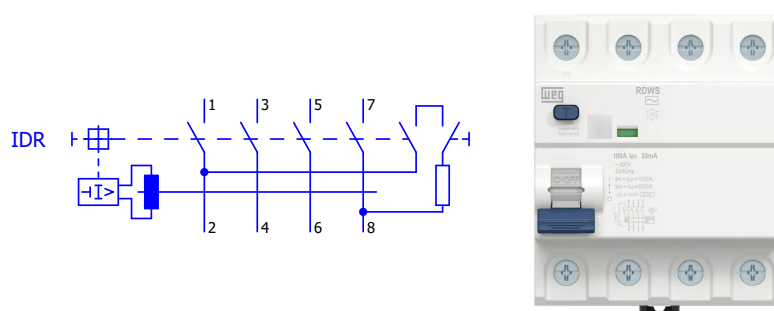
2.2.2.3 Interruptor Diferencial Residual (IDR)

É um dispositivo de proteção elétrica utilizado para garantir a segurança das instalações elétricas e prevenir choques elétricos. Sua aplicação é essencial em instalações residenciais, comerciais e industriais. O IDR é projetado para detectar correntes de fuga à terra, causadas por falhas nos equipamentos ou na instalação, desligando o circuito imediatamente para evitar riscos de choque elétrico. O funcionamento do IDR envolve a monitorização contínua da corrente elétrica que entra e sai do circuito. Seus componentes e seu funcionamento podem ser subdivididos em: transformador toroidal (o IDR possui um transformador toroidal que envolve as fases — condutores ativos — e o condutor neutro, como na simbologia do Figura 2.9. A corrente que entra no transformador é igual à corrente que sai quando não há falha), bobina toroidal (gera um campo magnético proporcional à corrente que flui pelos condutores), bobina diferencial (além da bobina toroidal, existe uma bobina diferencial que envolve apenas o condutor de retorno — neutro. Tal bobina cria um campo magnético

² Estado, situação ou condição

igual e oposto ao da bobina toroidal quando a corrente é equilibrada), detecção de corrente de fuga (se houver uma corrente de fuga à terra devido a uma falha na instalação ou nos equipamentos, a corrente nos condutores não será mais equilibrada. Isso cria um desequilíbrio magnético nas bobinas) e atuação do dispositivo (o desequilíbrio magnético resultante atua em um mecanismo que desliga imediatamente o circuito, interrompendo o fornecimento de energia elétrica), limiares de sensibilidade (os IDRs são projetados com diferentes níveis de sensibilidade para detectar correntes de fuga de pequena intensidade. A sensibilidade padrão é geralmente de 30mA, porém valores mais altos ou mais baixos podem ser utilizados dependendo da aplicação) (WEG, 2023c).

Figura 2.9 – Representação simbólica e física de um IDR tetrapolar, respectivamente. Na simbologia do IDR, as fases e o condutor de neutro estão conectados na parte superior do dispositivo, correspondendo aos pontos 1, 3, 5 e 7. A saída dos potenciais para o circuito elétrico é realizada pela parte inferior, que se refere aos pontos 2, 4, 6 e 8.



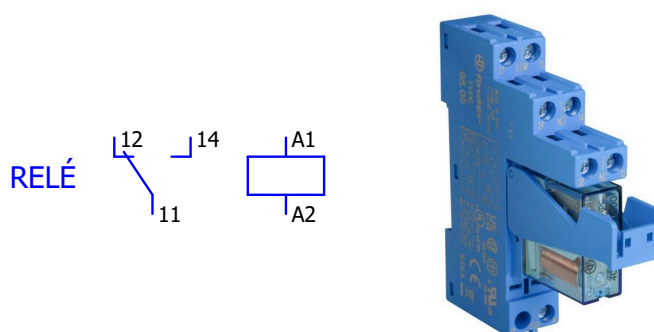
Fonte: Adaptada de (WEG, 2023c).

2.2.3 Dispositivos de Acionamento Elétrico

2.2.3.1 Relés

Um relé é um dispositivo eletromagnético utilizado para controlar circuitos elétricos por meio de um sinal elétrico aplicado em sua bobina. Os relés são comumente utilizados para comutar cargas elétricas, como motores, luzes, sistemas de aquecimento, entre outros, em resposta a sinais de controle. O funcionamento de um relé envolve a atuação de uma bobina eletromagnética que, ao ser energizada, gera um campo magnético capaz de acionar contatos elétricos, como mostrado na Figura 2.10. Seus componentes e seu funcionamento podem ser subdivididos em: bobina eletromagnética (quando energizada, cria um campo magnético ao seu redor), contatos elétricos (o relé contém contatos elétricos — normalmente abertos ou normalmente fechados, acionados pelo campo magnético gerado pela bobina), posição inicial dos contatos (na ausência de corrente na bobina, os contatos estão em uma posição inicial, seja normalmente aberto — NA ou normalmente fechados — NF, dependendo do tipo de relé), acionamento dos contatos (o campo magnético aciona os contatos, alterando sua posição de repouso. Os contatos NA se fecham, enquanto os NF se abrem), liberação dos contatos (ao remover a tensão da bobina, o campo magnético desaparece, e os contatos retornam à sua posição inicial) (FINDER, 2021). O relé desempenha um papel crucial na automação e no controle elétrico, permitindo que sinais de baixa potência controlem dispositivos de alta potência de maneira segura e eficiente.

Figura 2.10 – Representação simbólica e física de um relé, respectivamente. Na simbologia do relé, o contato normalmente aberto é representado pelos pontos 14 e 11, enquanto o contato normalmente fechado é indicado pelos pontos 12 e 11. A bobina de acionamento é simbolizada pela conexão entre A1 e A2.



Fonte: Adaptada de (FINDER, 2021).

É de suma importância destacar que a representação de contatos elétricos é empregada como simbologia para vários dispositivos, abrangendo desde botoeiras e sensores digitais (exemplo: sensores NPN e PNP) até dispositivos de fim de curso, entre outros. Consequentemente, essa simbologia é amplamente empregada em projetos de comandos elétricos, podendo assumir significados distintos conforme o tipo de dispositivo considerado, como demonstrado na Figura 2.11.

Figura 2.11 – Representação Simbólica de Contatos Elétricos. (a) Contato Normal Aberto (*normally open* — NO). (b) Contato Normal Fechado (*normally closed* — NC).



(a)



(b)

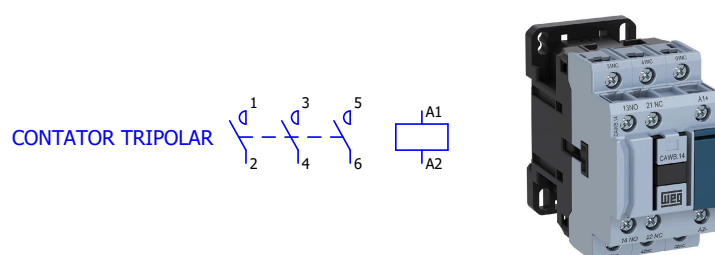
Fonte: Autoria Própria.

2.2.3.2 Contatores

Um contator é um dispositivo eletromecânico amplamente utilizado em sistemas elétricos para controlar a corrente em um circuito, proporcionando uma forma eficiente e confiável de ligar e desligar cargas elétricas em uma variedade de aplicações industriais e comerciais (WEG, 2023b). Sua aplicação é comum em motores elétricos, iluminação, sistemas de aquecimento, ares-condicionados e entre outros. O contator é especialmente útil em situações em que é necessário ligar e desligar cargas elétricas de forma remota, eficiente e confiável, quando integrados a um Controlador Lógico Programável

(CLP), por exemplo. Ele desempenha um papel crucial em automação industrial, sistemas de controle de processos e em várias aplicações que exigem controle preciso de corrente elétrica. Esse dispositivo é subdividido em bobina eletromagnética (quando energizada, cria um campo magnético ao seu redor), contatos móveis (dentro do contator, há contatos móveis, normalmente chamados de contatos principais, que podem abrir e fechar quando a bobina é energizada), contatos auxiliares (os contadores possuem contatos auxiliares, acionados simultânea ou separadamente e podem ser utilizados para funções de controle e sinalização), como mostrado na Figura 2.12.

Figura 2.12 – Representação simbólica e física de um contator tripolar, respectivamente. Na simbologia do contator, as fases estão conectados na parte superior do dispositivo, correspondendo aos pontos 1, 3 e 5. A saída dos potenciais para o circuito elétrico é realizada pela parte inferior, que se refere aos pontos 2, 4 e 6.



Fonte: Adaptada de (WEG, 2023b).

2.2.3.3 Chave de Transferência Automática (ATS)

Uma Chave de Transferência Automática ou *Automatic Transfer Switch (ATS)*, é um dispositivo com função de comutar uma determinada carga entre duas fontes de alimentação em caso de falha de qualquer uma delas, ver Figura 2.15. Ela assegura o fornecimento de energia à carga com um intervalo mínimo entre a falha de energia e a reconexão da carga à fonte de alimentação secundária.

A sua função é transferir a carga da fonte primária de eletricidade (Fonte A) ou da rede da concessionária, em caso de falha desta, para a fonte secundária de eletricidade (fonte B) ou grupo motor gerador (GMG). Posteriormente, quando a Fonte A for restabelecida, procede-se à transferência da carga de retorna para a mesma.

Uma das preocupações para a utilização desse dispositivo é exatamente o tempo de comutação de uma das fontes de energia à carga elétrica, pois intervalos de comutação superiores a 16 milissegundos fazem o desligamento das cargas elétricas, para países que utilizem o padrão de 60 Hertz (Hz), já que o período de uma senoide tem esse intervalo de duração. Para países que utilizem o padrão de 50Hz, esse período de duração da senoide aumenta para 20 milissegundos. Segundo (AZEEM et al., 2016), as ATS tem tempo de comutação de aproximadamente 30 milissegundos, e para reduzir esse tempo, podem ser utilizados dispositivos semicondutores de potência, como tiristores de disparo rápido (*Silicon Controlled Rectifier-SCR*). Também podem ser utilizados Relés de Estado Sólido (*Solid State Relay-SSR*), que atuam como um interruptor eletrônico para cada fase a ser comutada à carga, ele também diminui o tempo de comutação, e o ruído causado, por exemplo, no transitório da comutação por contadores.

Figura 2.13 – Representação de uma ATS. (a) ATS tetrapolar com capacidade para comutar cargas elétricas de até 400A. (b) ATS bipolar com capacidade para comutar cargas elétricas de até 63A.

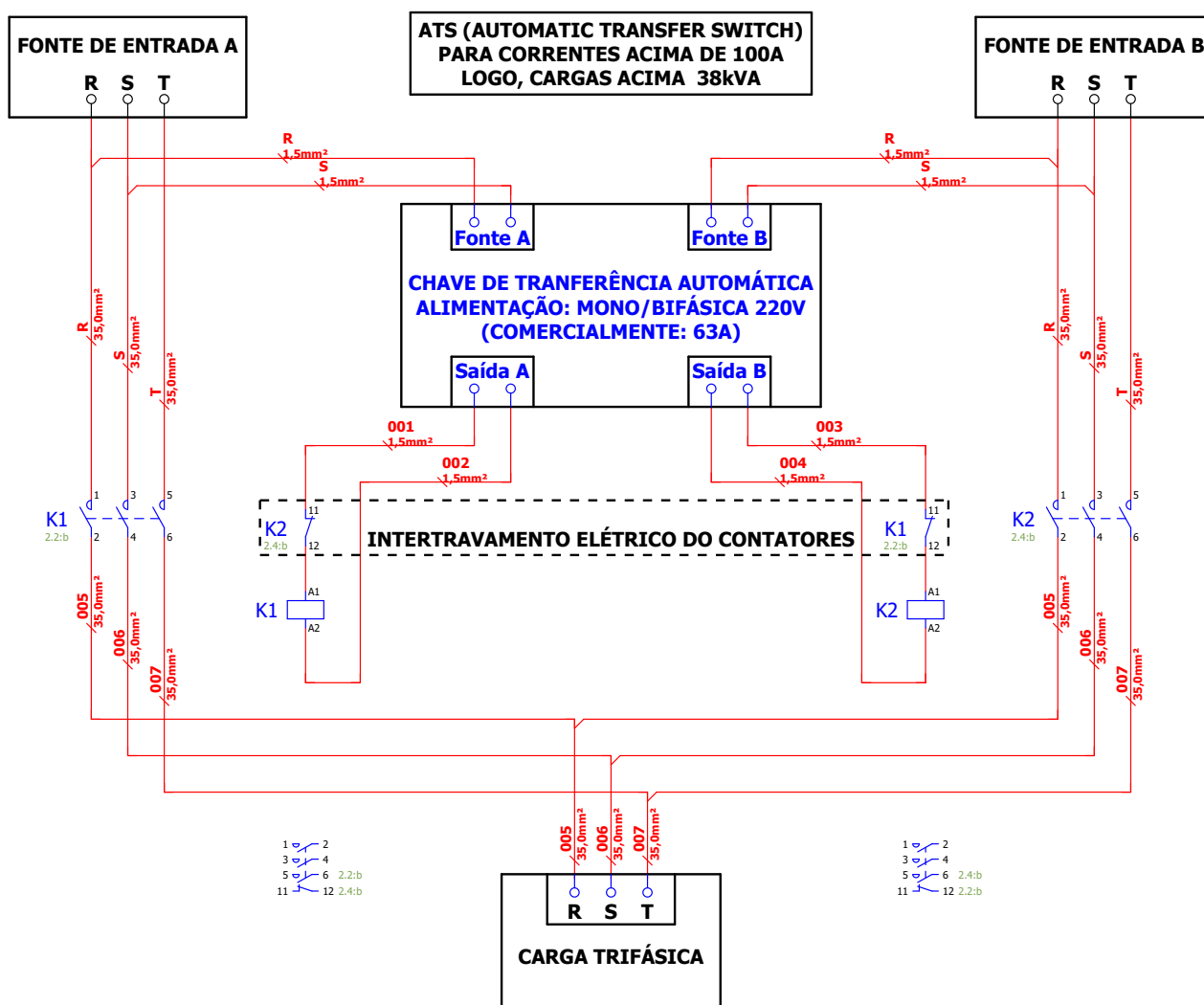


Fonte: (AISIKAI, 2020).

2.2.3.3.1 Proposta de Modelo de um Chave de transferência Automática-Trifásica 220 Volts

Os elementos empregados nesse modelo consistem em dois contatores projetados para suportar correntes de 100 ampères (intertravados de forma elétrica e mecânica) e uma chave de transferência automática bifásica (nessa proposta é utilizado um modelo encontrado comercialmente com capacidade para 63 ampères, que foi escolhido por conta de sua confiabilidade, nessa aplicação). Através desse projeto, é possível utilizar a chave de transferência automática de 63 ampères, para acionar o circuito de comandos, enquanto os contatores fariam a transferência de duas fontes de entrada do sistema, apresentando uma saída única. Essa proposta, mostrada na Figura 2.14, tem aplicação em quadros de transferência automática (QTA), utilizando a alimentação da concessionária como fonte A e a alimentação de um GMG como fonte B para cargas elétricas trifásicas.

Figura 2.14 – Circuito de um sistema de transferência automática (ATS) para cargas elétricas com capacidade de 38 kilovolt-ampères. O circuito emprega contatores com capacidade de 100 ampères para a comutação entre duas fontes de energia destinadas a uma carga elétrica trifásica. A chave de transferência bipolar, com capacidade de 63 ampères, atua exclusivamente no circuito de comandos.



Fonte: Autoria Própria.

A carga elétrica máxima suportada pela chave de transferência automática é calculada através da tensão de linha do sistema trifásico 220 volts usando como a equação (2.12):

$$S = \sqrt{3} V_{linha} I_{linha} = \sqrt{3} * 220 * 100 = 38105,1178 \text{ VA} \quad (2.13)$$

Portanto, como a corrente nominal máxima dos contatores é de 100 ampères, essa proposta de chave de transferência automática pode ser utilizada para uma carga elétrica de até 38 Kilovolt-ampères (kVA). Esse mesmo circuito pode ser utilizado para cargas elétricas maiores, exigindo para isto, o aumento da capacidade de condução de corrente dos contatores.

2.2.4 Dispositivos de Controle e Automação

2.2.4.1 Controlador Lógico Programável (CLP)

É um dispositivo amplamente utilizado na automação industrial para controlar e monitorar processos. Sua aplicação é essencial em sistemas industriais complexos, nos quais é necessário coordenar diversas operações, como controle de máquinas, produção em linhas de montagem, sistemas de monitoramento e outras tarefas relacionadas à automação. O CLP oferece flexibilidade, facilidade de programação e confiabilidade em ambientes industriais diversificados. O funcionamento de um CLP envolve processos lógicos, de controle e comunicação. Este dispositivo é dotado de uma interface de entradas e saídas (I/O). O CLP possui entradas, como mostrado na Figura 2.15a, que captam informações sensoriais do ambiente, incluindo dados provenientes de sensores de temperatura, pressão e outros. Em resposta, o CLP gera saídas que podem ser digitais (discretas) ou analógicas utilizadas para o controle de diversos dispositivos, como motores, válvulas e sistemas de iluminação. O processador executa as instruções programadas e toma decisões com base no monitoramento das entradas, para controle das saídas. A linguagem de programação utilizada é a *ladder logic* (lógica de escada), que permite a integração dos dispositivos com interfaces externas, como os módulos de Interface Homem-Máquina (IHM), ver Figura 2.15b. Esses módulos oferecem telas interativas que auxiliam o operador na tomada de decisões referentes a parâmetros ajustáveis da programação do Controlador Lógico Programável (FRANCHI; CAMARGO, 2008).

Figura 2.15 – Representação física de dispositivos de automação. (a) CLP. (b) IHM.



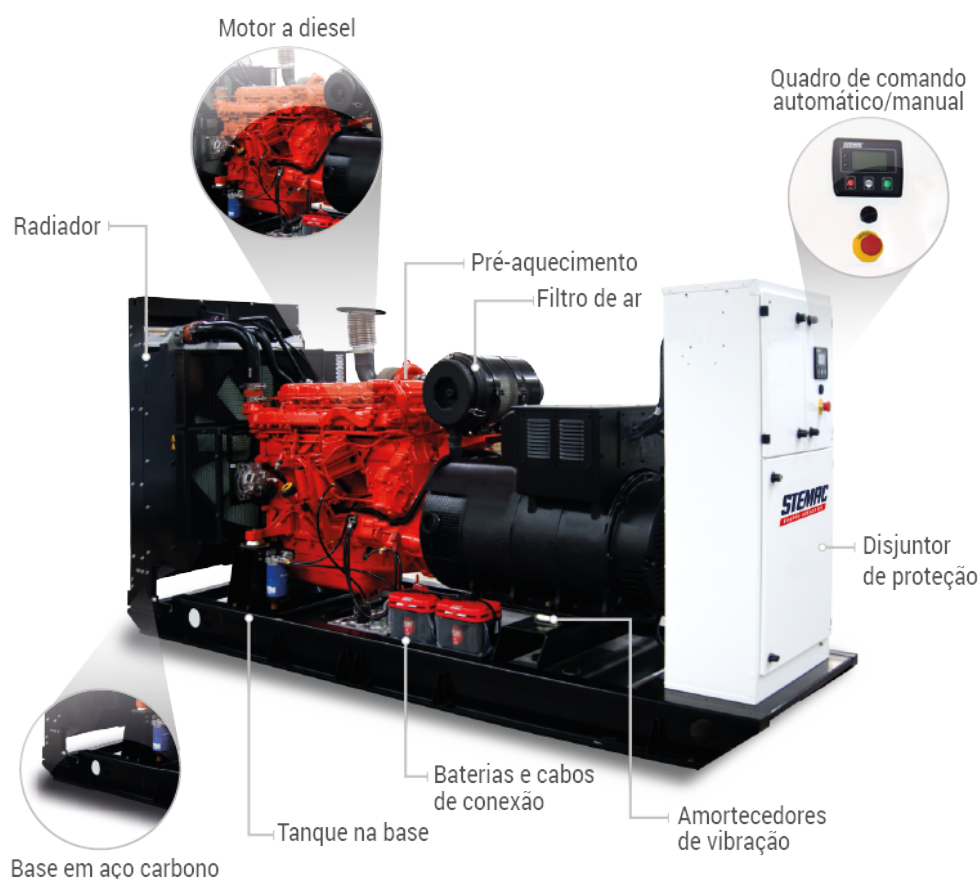
Fonte: (WEG, 2023c) e (DAKOL, 2017).

2.3 GRUPO MOTOR GERADOR (GMG) E QUADRO DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA (QTA)

Um GMG é formado por três principais componentes: um motor a combustão, um gerador de energia elétrica de corrente alternada e um quadro de transferência automática (QTA). Um motor a combustão interna é utilizado para produzir energia elétrica mediante uma fonte de energia química, tal qual, gasolina, óleo diesel ou gás. Através da transformação da energia química em energia mecânica, ela é transformada em energia cinética e em seguida, energia elétrica através da indução magnética,

já que o gerador ou alternador possui uma bobina condutora fixa, sendo rotacionada num campo magnético, gerando a tensão alternada na saída desse (SANTOS, 2019b). O dimensionamento do GMG esta diretamente relacionada à carga elétrica que será alimentada por esse, muitas aplicações exigem GMGs específicos, que devem ter algumas particularidades quanto ao seu projeto de instalação. Na Figura 2.16, estão dispostos os componentes de um GMG.

Figura 2.16 – Componentes de um Grupo Motor Gerador. O motor a combustão está destacado em vermelho, o gerador de energia elétrica de corrente alternada em preto e o QTA em branco.



Fonte: (STEMAC, 2020).

O gerador síncrono possui uma velocidade de rotação no rotor que corresponde à velocidade da fonte de energia mecânica, o motor a combustão. A frequência gerada é diretamente proporcional à velocidade de rotação do motor. Com mais bobinas, a velocidade do motor é reduzida para manter a frequência gerada em 60Hz, conforme padrão no Brasil. Um grupo motor gerador também é composto por um QTA, que tem a função de interpretar o momento de partida ou parada do motor a combustão do GMG. Assim como, garantir que a energia elétrica produzida tenha estabilidade para atender demanda da potência da carga, através da Unidade de Supervisão de Corrente Alternada (USCA) (MENDES; COSTA; LIMA, 2013). Responsável por monitorar parâmetros fundamentais, como potência, tensão, frequência e sincronismos das fases. Através dessa também é possível sincronizar dois GMGs para que esses possam trabalhar em paralelismo, isto só é possível, pois tal comunicação concentra os parâmetros fundamentais, já citados. Em resumo, o funcionamento do QTA é baseado na entrada de energia

elétrica proveniente da concessionária para o GMG. Esse equipamento monitoriza continuamente a disponibilidade e a qualidade da energia fornecida. Em caso de falhas ou interrupções no fornecimento de energia pela concessionária, o QTA detecta a anomalia e transfere automaticamente a carga elétrica para a energia gerada pelo GMG. Assim, é permitido a continuidade do fornecimento de energia elétrica, minimizando os riscos e impactos causados por falhas no fornecimento da concessionária (NOBRE, 2021).

Quanto ao motor a combustão do GMG, por ser tratar de um sistema mecânico, deve ser respeitado um plano de manutenção específico para esse. Logo, o fabricante do motor irá determinar o tempo de funcionamento para a troca de fluidos (óleo do motor e fluido de arrefecimento), troca de filtros (filtro de ar, filtro de óleo do motor e filtro de combustível) e inspeções regulares para assegurar a integridade do sistema mecânico desse.

2.3.1 Tipos de Transferência de GMG e Concessionária à Carga Elétrica

Para realizar a transferência entre a concessionária e o GMG para suprimento de energia à carga elétrica, existem formas diferentes a depender da criticidade desta. Os controladores no QTA do GMG devem estar aptos para gerenciar transferências dos tipos aberta, em rampa e fechada.

2.3.1.1 Transferência Aberta

A transferência aberta é caracterizada pelo intertravamento da chave de transferência entre concessionária e GMG, ou seja, o controlador presente no QTA do GMG enxerga a queda do fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária e a partir desse momento, realiza a partida do motor a combustão e ajustes dos parâmetros elétricos de saída do gerador, para então realizar a transferência à carga. Assim, o intertravamento se dá pelo fato da concessionária e GMG não trabalharem em paralelismo à carga. A partir do momento que o controlador do GMG enxerga o retorno de energia elétrica da concessionária, o QTA transfere novamente o fornecimento da concessionária à carga (KVA, 2021).

A transferência aberta é muito utilizada em aplicações cujas cargas elétricas não são consideradas críticas e onde é permitido um período de interrupção do fornecimento de energia elétrica. Isso ocorre porque o motor a combustão do GMG precisa ser acionado, e o sinal de saída elétrica precisa ser parametrizado antes de realizar a transferência da carga, ou seja, o GMG funciona em espera.

2.3.1.2 Transferência em Rampa

A transferência em rampa ocorre em momentos específicos, conforme a programação do controlador no QTA do GMG, no qual o fornecimento de energia elétrica à carga, ocorre sem interrupções. Portanto, em um curto período, o fornecimento de energia elétrica à carga ocorre a partir do paralelismo entre a concessionária e o GMG, onde o GMG inicia a alimentação da carga gradualmente até o desligamento da concessionária à carga. É importante ressaltar que para ocorrer o paralelismo, o controlador no QTA do GMG deve ajustar a saída de tensão, frequência e sincronismo entre as fases (defasagem entre as componentes), para que ela reproduza tais parâmetros da concessionária (KVA, 2021).

A transferência em rampa é amplamente utilizada em aplicações cujas cargas elétricas são críticas e durante períodos de pico (períodos de ponta) no fornecimento de energia elétrica pela concessionária. Segundo (KVA, 2021), grandes indústrias são tarifadas com valores elevados na conta de energia se utilizarem a eletricidade proveniente da concessionária nos horários de ponta. Portanto, é imprescindível que essas indústrias possuam GMGs dimensionados para suas cargas elétricas, já que o fornecimento de energia pelo GMG não será emergencial, mas contínuo durante o período de ponta e rotineiro, ocorrendo diariamente. Portanto, para evitar paradas nos processos fabris dessas indústrias, deve ser utilizada a transferência em rampa entre o GMG e a concessionária à carga.

2.3.1.3 Transferência Fechada

A transferência fechada é similar a transferência em rampa, entretanto, não ocorre gradualmente da energia elétrica fornecida pela concessionária e o GMG à carga. Nesse tipo de transferência ocorre necessariamente o paralelismo da concessionária e o GMG à carga, por um período indeterminado ou determinado, entretanto muito maior que em relação à transferência em rampa (KVA, 2021).

A transferência fechada pode ser prejudicial ao gerador e aos componentes elétricos dispostos no QTA do GMG, logo, existem normas próprias das concessionárias para tratar essas situações em que ocorre o paralelismo entre a energia elétrica destas e o GMG à carga, como exemplo (CPFL, 2021).

2.4 FONTE DE ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA (UPS)

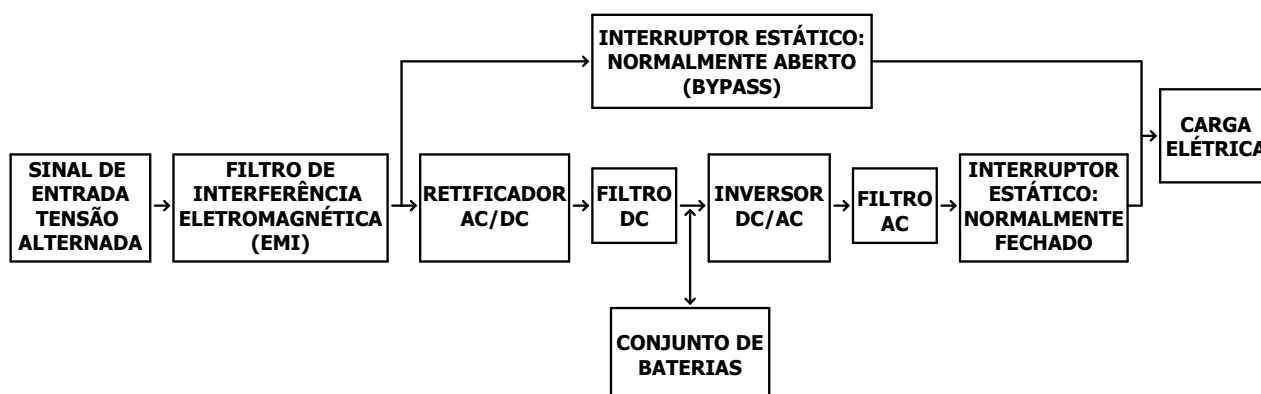
Uma Fonte de Alimentação Ininterrupta ou *Uninterruptible Power Supply* (UPS) é essencial para o funcionamento de um *data center* já que fornece energia estável e constante (ininterrupta) para manter cargas elétricas críticas e sensíveis a variações da rede elétrica. Entre seus benefícios, se encontra uma saída senoidal de distorção harmônica mínima e um fator de potência (FP) bem próximo a 1 (alto fator de potência).

Segundo (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016), uma UPS deve ter alguns requisitos para atender as necessidades básicas de manter uma saída de tensão constante. Para condições de carga, é tolerável a distorção harmônica total (*total harmonic distortion* — THD) de 4% e não é tolerável uma queda de tensão superior a 5% da total, durante mais de dois períodos da tensão. Para quaisquer variação de temperatura, corrente da carga ou tensão da bateria, não é permitido desvio máximo de tensão de pico (V_p) acima de 2% e um desvio máximo de 10% da tensão de pico é permitida durante a transição da conversão da tensão das baterias para a tensão de carga.

2.4.1 Sistema de UPS On-line

Uma UPS On-line é um sistema que isola o sinal de entrada da carga. Portanto, no modo de operação fundamental, a carga é alimentada pelo sinal de tensão alternada fornecido pelo inversor da UPS. Na Figura 2.17, é mostrado como o sinal de entrada alternada é processado até alcançar a saída estabilizada, (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016).

Figura 2.17 – Diagrama de Blocos da Topologia Elétrica de uma UPS On-line (dupla-conversão). Nesse tipo de sistema, a energia é continuamente convertida e fornecida ao circuito crítico, garantindo proteção constante contra interrupções e flutuações na rede elétrica.



Fonte: Adaptada de (RACINE; PARHAM; RASHID, 2014).

Como na Figura 2.17, a primeira etapa do circuito de uma UPS On-line consiste na passagem do sinal de entrada por um filtro passivo de Interferência Eletromagnética (EMI), cuja função é garantir a confiabilidade da operação do sistema eletrônico de potência da UPS. Tal filtro tem por objetivo reduzir ruídos de interferência eletromagnética, evitando assim sua influência nos componentes eletrônicos subsequentes da UPS. Seu uso é crucial em equipamentos de missão crítica.

Na segunda etapa, o sinal é direcionado pelo interruptor estático de *bypass*³, que serve como uma medida de segurança em casos de problemas nos circuitos das baterias ou do inversor da UPS. Esse interruptor conecta a saída do filtro EMI à saída da UPS, prevenindo a interrupção dos equipamentos de TI durante manutenções ou situações correlatas. Quando a UPS entra em modo *bypass*, ela dispara um alarme para avisar que a saída de energia elétrica fornecida não está protegida (qualquer falha da concessionária pode gerar o desligamento dos equipamentos críticos do *data center*). O modo *bypass* da UPS pode ser ocasionado por falhas internas, sobrecarga, problemas de infraestrutura elétrica e sobreaquecimento (GROUP, 2021).

Além disso, o retificador CA/CC (Corrente alternada para corrente contínua) transforma o sinal de tensão de entrada alternada em um sinal de tensão contínua, que posteriormente passa por um filtro de tensão contínua. Esse filtro alimenta o circuito de carregamento das baterias e o inversor da UPS. Assim, em caso de falha no sinal de entrada, o inversor utiliza a energia das baterias para gerar um sinal de saída de tensão alternada, alimentando a carga da UPS. Após isso, o sinal de tensão alternada da saída do inversor passa novamente por uma etapa de filtragem.

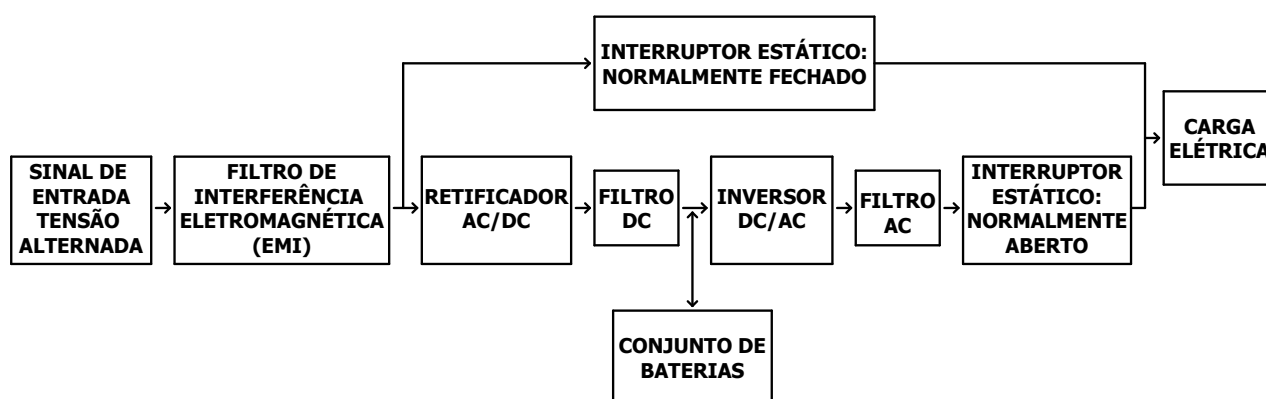
A última etapa consiste na passagem do sinal de tensão alternada estabilizada por um interruptor estático, que conecta a carga da UPS. Tal interruptor estático opera em contraposição ao interruptor estático de *bypass*, sendo impossível que ambos estejam fechados simultaneamente. Quando o interruptor de *bypass* está aberto, o interruptor está fechado, e vice-versa.

³ derivação, contorno ou desvio

2.4.2 Sistema de UPS Off-line

Uma UPS Off-line consiste em um sistema que não isola o sinal de entrada da carga, por isso, no modo de operação fundamental a carga é alimentada pelo próprio sinal de tensão alternada da entrada da UPS. E, o carregador das baterias também fica conectado em paralelo a esse sinal de entrada, fazendo o carregamento destas, tal que o inversor fica em esperada durante esse momento. No instante de ausência do sinal de entrada da UPS, ou seja, nas falhas da concessionária, um interruptor estático faz a conexão do inversor (alimentado pelas baterias) a carga da UPS e abre o interruptor estático normalmente fechado (que interligava o sinal de entrada diretamente a carga). Essa comutação do interruptor estático com a carga, pode ocorrer em um curto período de aproximadamente 10 milissegundos, desprezível para os equipamentos de TI, já que o ciclo de um sinal alternado tem duração de 16 milissegundos.

Figura 2.18 – Diagrama de Blocos da Topologia Elétrica de uma UPS Off-line. Nesse tipo de sistema, a energia é fornecida diretamente da rede elétrica à carga por meio de um desvio. Em caso de falha na rede, a UPS transfere automaticamente a utilização da bateria pelo inversor, para a continuidade da alimentação do circuito crítico.



Fonte: Adaptada de (RACINE; PARHAM; RASHID, 2014).

Como na Figura 2.18, entre seus componentes, se encontram um carregador de baterias, um conjunto de baterias, um interruptor estático. Na saída da carga são utilizados supressores de surtos e um filtro, para evitar problemas com a carga, na comutação do interruptor estático.

Sua vantagem comparativa é a simplicidade do circuito eletrônico, por consequência um custo menor. Por outro lado, tem a desvantagem de não isolar totalmente a carga e a ausência de um regulador de tensão para melhor controle de sua operação com a carga. Outra consideração a ser feita é que seu uso se restringe a pequenas cargas elétricas, logo, essas UPSs são classificadas para cargas elétricas de cerca de 0,6 Kilovolt-ampères (AAMIR; KALWAR; MEKHILEF, 2016).

2.5 UNIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA (PDU)

A Unidade de Distribuição de Energia ou *Power Distribution Unit* (PDU) se trata de um equipamento em que é centralizado a distribuição de energia para os equipamentos que se encontram no *rack* de um *data center*. Em sua estrutura, uma PDU exige uma entrada de energia (tensão alternada — CA

ou contínua — CC) e disponibiliza múltiplas saídas, tal que sua topologia dependerá da necessidade do número e o padrão das tomadas de saída de energia. Na distribuição de energia de um *data center* as PDUs devem ser ligadas na saída da UPS, para garantir o funcionamento dos dispositivos de missão crítica e como a maioria dos equipamentos possui *dual power*, são dispostas duas PDUs por *rack*, logo, uma para o circuito A e outra para o circuito B (VERTIV, 2022).

Uma PDU pode também ser horizontal (Figura 2.19a), montada nos trilhos do *rack*, ou verticais, montada nas laterais dos organizadores de cabos do *rack* (Figura 2.19b), sendo esse o modelo mais viável, pois além de possibilitar um maior número saídas, não ocupa espaço no *rack*. Logo, a topologia de uma PDU dependerá diretamente dos requisitos de projeto do *data center*.

Figura 2.19 – Representação de modelos de PDU. (a) PDUs horizontais gerenciáveis. (b) PDU vertical gerenciável.



(a) Fonte: (EATON, 2022)



(b) Fonte: (EATON, 2022).

Como uma solução eficiente para o controle de grandes salas de *data centers* existem as PDUs gerenciáveis (monitoradas), que podem ser conectadas a porta de um *switch* e gerenciadas por um endereço de IP, em tempo ininterrupto. Esses modelos realizam a leitura de tensão e corrente (por meio de transformadores de corrente), possibilitando obter informações como potência elétrica aparente, potência elétrica ativa, potência elétrica reativa, fator de potência e energia consumida pelas cargas elétricas conectadas a esse equipamento (EATON, 2022).

2.6 SISTEMA DE ATERRAMENTO ELÉTRICO

O sistema de aterramento em projetos elétricos possui grande importância para a proteção de pessoas e de equipamentos elétricos contra curto circuitos na instalação elétrica local. Assim, o desempenho de qualquer sistema de proteção em um projeto elétrico, dependerá do dimensionamento do aterramento da instalação (PORPINO, 2002). Nos sistemas elétricos, o neutro é interligado ao aterramento local, para assegurar que as tensões de fase sejam equilibradas em relação às tensões de linha e oferecer um caminho para as correntes desequilibradas. Ou seja, as correntes desequilibradas teriam um caminho de escoamento, para proteger os equipamentos elétricos e evitar acidentes de choques elétricos, protegendo a interação humana à rede elétrica (BRASIL... , 2008).

2.6.1 Esquemas de Aterramento Elétrico

Os esquemas de aterramento são regulamentados para detalhar as condições essenciais destinadas ao planejamento, implementação e operação eficaz desses sistemas. Nesse contexto, a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004) é empregada como ponto de referência, discriminando padrões para instalações elétricas de baixa tensão. Além da aplicação na proteção de dispositivos elétricos, os esquemas de aterramento se destinam a proteção contra acidentes de choques elétricos.

Para os tipos de aterramento a seguinte classificação é utilizada (ASSOCIAÇÃO... , 2004):

1. Primeira letra-Situação da alimentação em relação à terra:

- T — Ponto diretamente aterrado;
- I — Isolação de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto mediante uma impedância;

2. Segunda letra — Situação das massas ⁴ da instalação elétrica em relação à terra:

- T — Massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
- N — Massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);
- S — Funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
- C — Funções de neutro e de proteção combinada em um único condutor (condutor PEN).

A simbologia para os esquemas de aterramento é demonstrada na Figura 2.20.

Figura 2.20 – Simbologia para sistemas de aterramento.



Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO... , 2004).

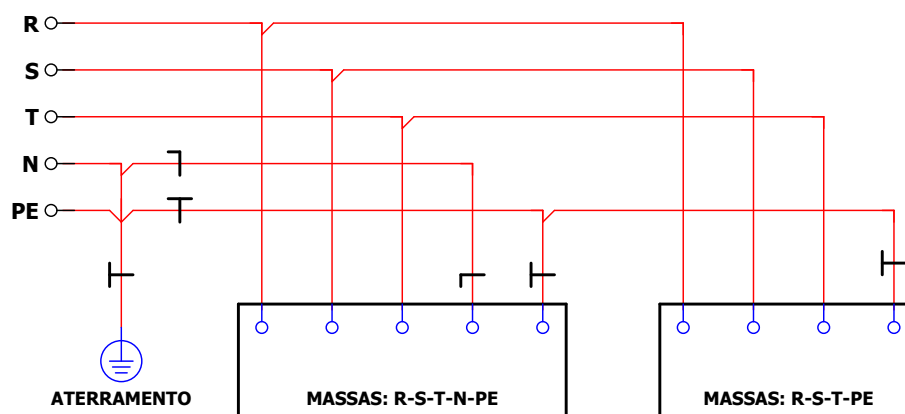
2.6.1.1 Esquema TN

O esquema de aterramento TN tem como característica o potencial de referência neutro (N) ser diretamente aterrado, logo, as massas são interligadas a esse através das conexões de proteção.

⁴ Qualquer corpo condutor de eletricidade que tenha ou não função elétrica no circuito.

Esse esquema é subdividido em três variações, tal que a primeira delas é o esquema TN-S, como na Figura 2.21. Tal classificação determina o uso de condutores/conexões distintas para o neutro e para o de proteção.

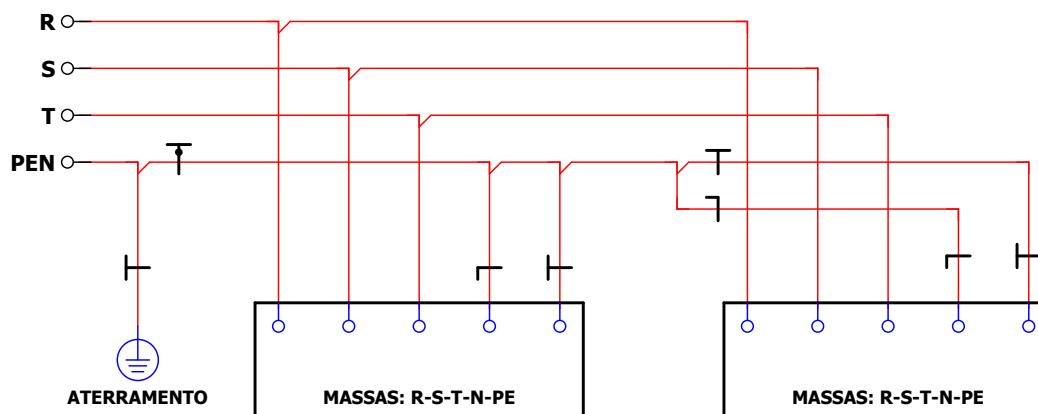
Figura 2.21 – Representação do Esquema TN-S para massas trifásicas.



Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

A segunda subclassificação é denominada TN-C, que determina o uso de um mesmo condutor/conexão para o neutro e para o de proteção (combinados), sendo esta conexão classificada PEN, como na Figura 2.22.

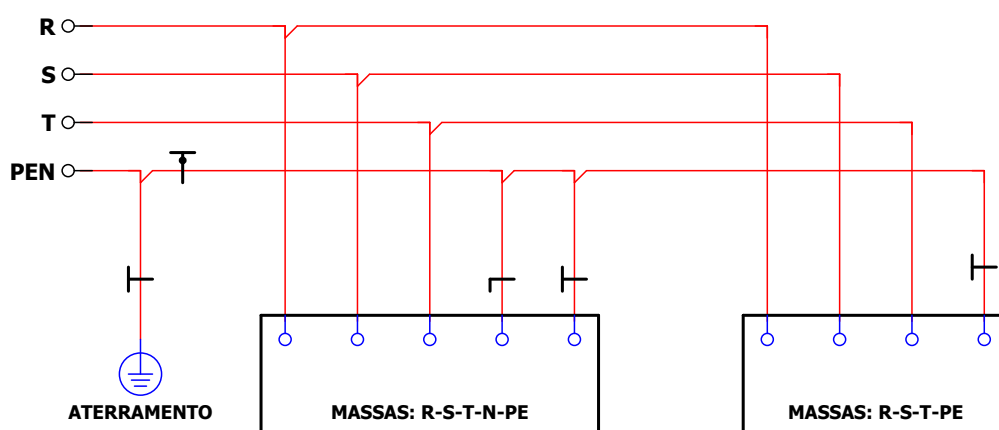
Figura 2.22 – Representação do Esquema TN-C para massas trifásicas.



Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

Já a terceira subclassificação é denominada TN-C-S, é a combinação das duas primeiras subclassificações no mesmo sistema elétrico. Sendo assim, algumas massas utilizam uma mesma conexão para o neutro e o de proteção, já outras utilizam conexões separadas para esses, como na Figura 2.23.

Figura 2.23 – Representação do Esquema TN-C-S para massas trifásicas.



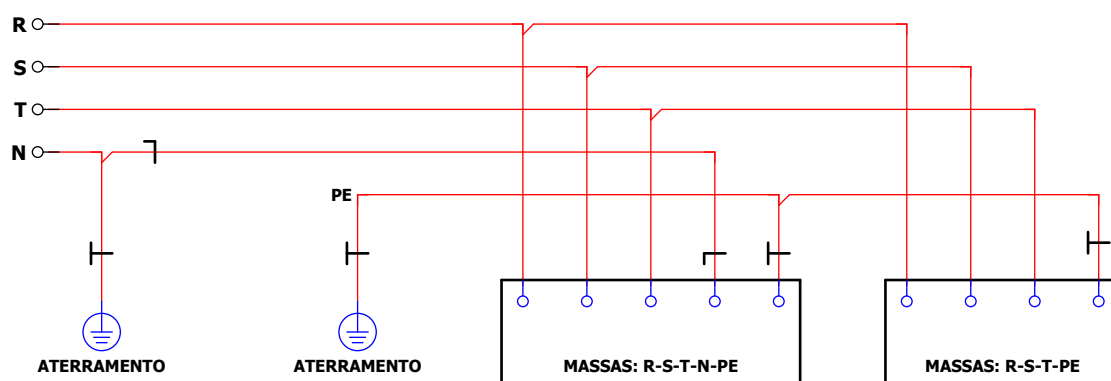
Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

2.6.1.2 Esquema TT

O esquema TT possui o potencial de referência diretamente aterrado ao um eletrodo próprio, tal que esse não é compartilhado com as demais massas do sistema elétrico. Na ocorrência de uma corrente de falta de fase, é pertinente observar que o trajeto da corrente fase-terra incorpora o solo, resultando em uma limitação no valor da corrente devido à elevada resistência do solo. É crucial ressaltar que essa corrente não atinge magnitude suficiente para acionar os dispositivos de proteção, porém representa um risco substancial para os usuários (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

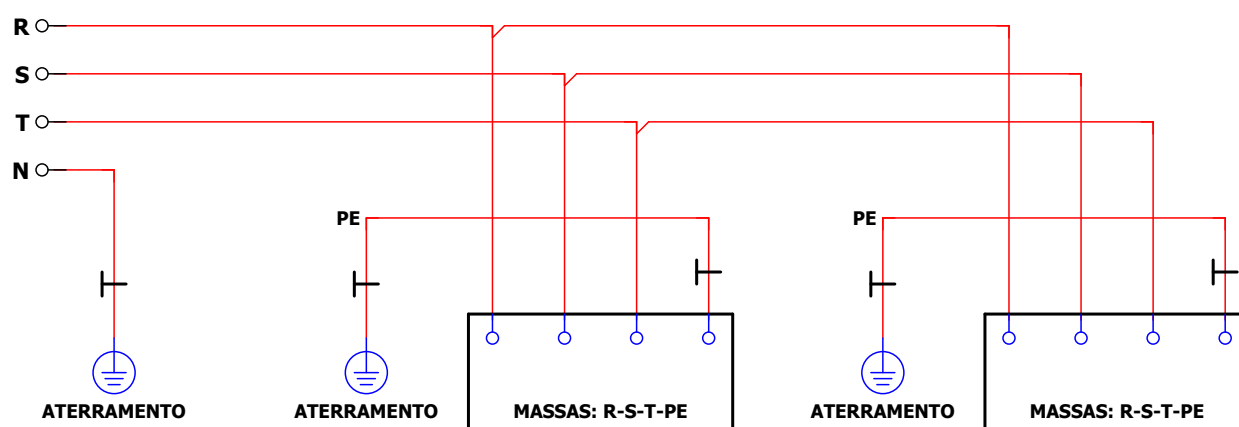
O primeiro exemplo de sistema elétrico que utiliza o esquema TT, está mostrado na Figura 2.24, em que as massas compartilham um mesmo eletrodo de aterramento. Outra possibilidade é um sistema elétrico onde as massas não compartilhem um mesmo eletrodo de aterramento, logo, cada massa possuirá um eletrodo de aterramento próprio, como na Figura 2.25.

Figura 2.24 – Representação do Esquema TT com massas que compartilham o mesmo eletrodo de aterramento.



Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

Figura 2.25 – Representação do Esquema TT com massas que utilizam eletrodos de aterramento, distintos.

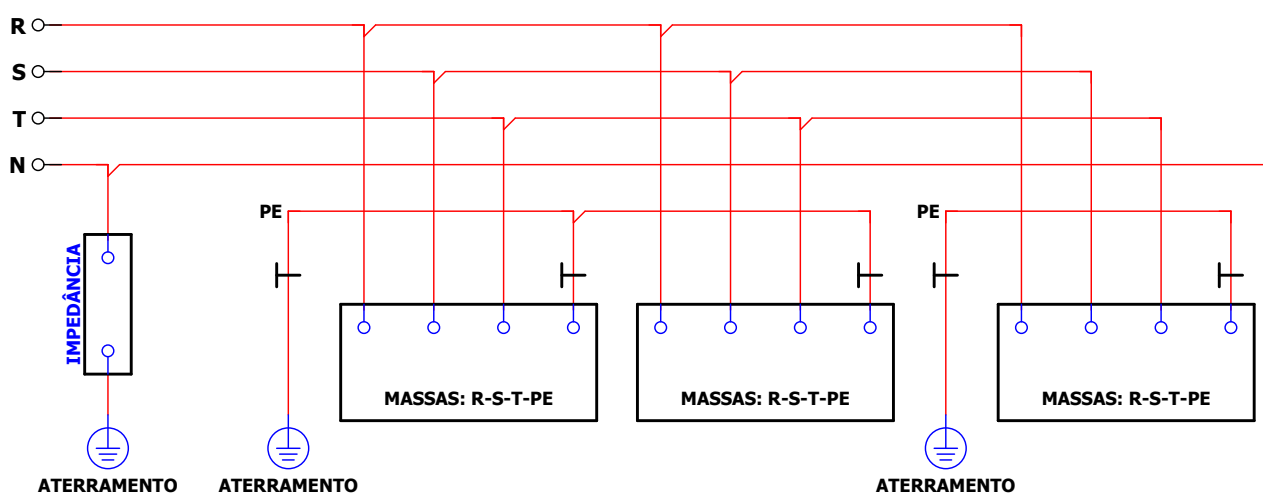


Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

2.6.1.3 Esquema IT

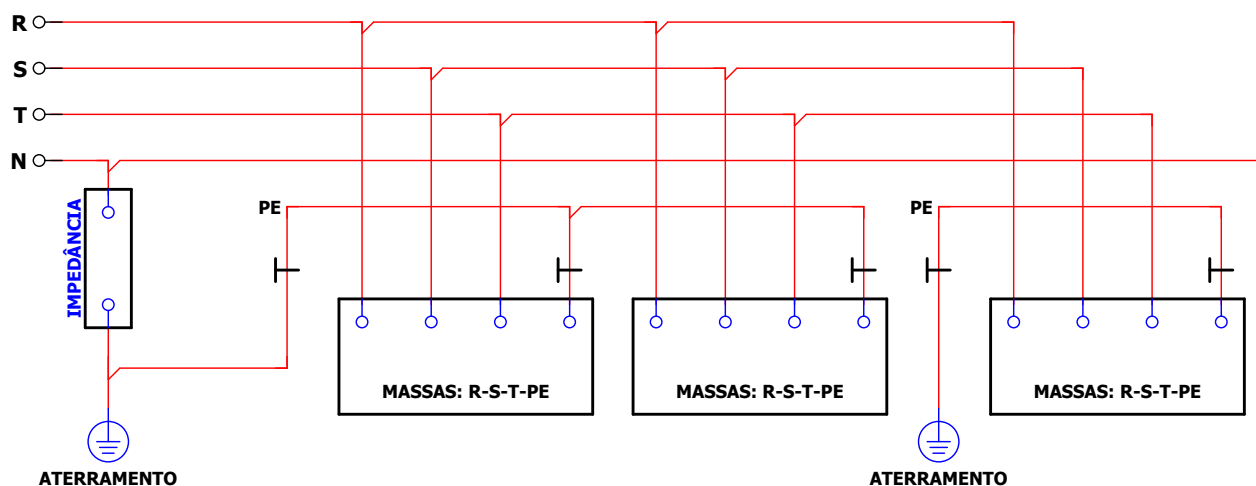
O esquema IT se assemelha ao aterramento TT, entretanto, este utiliza uma impedância de valor alto para isolar o potencial de referência (neutro), com o intuito de limitar a corrente durante a primeira falta, não acionando os dispositivos de proteção do sistema elétrico, ou seja, reduz o risco de choque elétrico em caso de falha à terra. Logo, podem ser utilizadas as possibilidades da Figura 2.26 e da Figura 2.27.

Figura 2.26 – Representação do Esquema IT com massas que utilizam eletrodos de aterramento, distintos.



Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

Figura 2.27 – Representação do esquema IT com massas que compartilham o mesmo eletrodo de aterramento e com eletrodos distintos.



Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

2.7 DIMENSIONAMENTO DE CONEXÕES ELÉTRICAS

Um dos fundamentos essenciais para um adequado planejamento da infraestrutura elétrica em *data center* é o dimensionamento das conexões. Pela criticidade dos *sites*, todos os condutores de distribuição devem ser dimensionados conforme as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), a qual estipula as condições gerais para os condutores de fase, neutro (N) e terra (PE), em circuitos de instalações elétricas de baixa tensão. Um dos aspectos cruciais a serem considerados é a rota por onde os condutores serão distribuídos, dado que podem ser utilizados diversos tipos de cabeamentos estruturados, incluindo os de propriedades rígidas, flexíveis, metálicas e plásticas, como conduítes, leitos, eletrodutos, pisos elevados, canaletas, entre outros, para a distribuição das conexões. Adicionalmente, deve ser calculada a taxa de ocupação dessas estruturas, conforme orientado pela NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) e conforme a referência (HSIN; IMAI, 2014).

Um condutor elétrico é denominado como o caminho destinado para a condução de corrente elétrica, para isto, são utilizados principalmente cabos elétricos flexíveis. Esses são formados pela união de capilares cilíndricos de material condutor e envoltos em uma capa isolante, tal que existem diversos materiais utilizados para confeccionar esses condutores e isolantes. O material condutor mais comum e vantajoso é o cobre, utilizado em instalações residenciais, comerciais e industriais. Segundo a ABNT NBR 5471, um “condutor é um produto metálico, de seção transversal invariável e de comprimento muito maior do que a maior dimensão transversal, utilizado para transportar energia elétrica ou transmitir sinais elétricos” (ASSOCIAÇÃO..., 1986). Um fio é um “produto metálico maciço e flexível, de seção transversal invariável e de comprimento muito maior do que a maior dimensão transversal” (ASSOCIAÇÃO..., 1986). E um cabo é um “conjunto de fios encordoados, isolados ou não entre si, podendo o conjunto ser isolado ou não” (ASSOCIAÇÃO..., 1986).

2.7.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

O material de um condutor pode ser alumínio ou cobre, conforme a aplicação, entretanto o cobre sempre é mais recomendado, devido a suas propriedades de condução de corrente, resistência a corrosão e maleabilidade, superiores ao alumínio. Quanto a capacidade de condução de corrente, os condutores ou cabos de alumínio precisam ter uma seção maior em relação aos de cobre, influenciando muito em requisitos de projetos e, portanto, são utilizados condutores ou cabos de cobre para instalações domésticas, comerciais ou industriais, na maioria dos circuitos.

Existem três tipos principais de condutores. O primeiro é o condutor isolado, que consiste em um condutor envolto por uma capa isolante. O segundo tipo é o cabo unipolar, composto por um condutor envolto em uma capa isolante, protegido adicionalmente por uma cobertura que garante sua integridade mecânica. Por fim, temos os cabos multipolares, conjuntos de cabos unipolares agrupados sob uma mesma cobertura. Cada um desses cabos unipolares é chamado de via, e sua diferenciação é feita pela cor dos isolantes.

Há uma variedade de configurações para os cabos multipolares, que variam conforme o tipo de circuito no qual serão empregados. Assim, pode-se encontrar desde cabos unipolares de duas vias até cabos com N vias. Para circuitos trifásicos, é comum utilizar cabos multipolares nos quais o condutor de aterramento e o neutro são considerados vias. O padrão para a identificação do condutor de aterramento é verde e/ou amarelo, enquanto para o condutor neutro é padronizada a cor azul-claro.

O isolamento dos condutores e cabos elétricos pode ser feito de diferentes materiais, dependendo da necessidade de aplicação, a norma ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004) cita os seguintes:

- **PVC (Policloreto de Vinila):** Esse material isolante é o mais comumente utilizado devido à sua resistência, durabilidade e baixo custo, este é amplamente utilizado em cabos elétricos de baixa tensão;
- **XLPE (Polietileno Reticulado):** Esse material oferece excelentes propriedades de isolamento, resistência química e é frequentemente usado em cabos de média e alta tensão devido à sua capacidade de resistir a altas temperaturas.
- **EPR (Borracha Etileno-Propileno):** É um tipo de borracha sintética que oferece boas propriedades isolantes e resistência à temperatura, sendo também encontrado em cabos de média e alta tensão.

A ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004) estabelece os principais critérios para realizar o dimensionamento dos condutores de um circuito elétrico, sendo esses:

1. Capacidade de condução de corrente;
2. Seção mínima;
3. Proteção contra sobrecarga;
4. Queda de tensão;
5. Proteção contra contatos indiretos.

2.7.1.1 Capacidade de Condução de Corrente

Em um condutor, determinar capacidade de condução de corrente tem importância para garantir que a seção mínima desse não provoque aquecimento excessivo. Logo, quando a seção de um condutor é mal dimensionada, ocorre o sobreaquecimento desse e compromete a capacidade de isolamento. Para isolantes de PVC, a temperatura dos condutores não deve ultrapassar 70°C e para isolantes de EPR e XLPE essa não deve ultrapassar a temperatura de 90°C.

Respeitando os requisitos de material do condutor e material do isolante desses, segundo a ABNT NBR 5410, os seguintes tópicos devem ser utilizados para calcular a seção adequada de condutores e cabos:

1. Cálculo da corrente do circuito;
2. Determinar o método de instalação;
3. Aplicar os fatores de correção (queda de tensão e entre outros);

Assim, a partir dos requisitos mencionados, conforme as diretrizes da norma ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), permite-se identificar a seção das fases apropriadas de um condutor para um determinado circuito.

2.7.1.2 Seção Mínima de Condutores

A ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) define alguns padrões gerais para a seção mínima de circuitos de baixa tensão na "Tabela 47", que servem de parâmetro inicial para projetos elétricos. Na Tabela 2.1 estão dispostos os tipos de linhas de distribuição, os tipos de circuitos e por fim a seção mínima destinada a esses.

Tabela 2.1 – Seção mínima de condutores para circuitos gerais. A primeira coluna indica o tipo de circuito elétrico, a segunda classifica esses circuitos e a terceira define a seção mínima do condutor que deve ser utilizada.

Tipo de Linha	Utilização do Circuito	Seção Mínima do Condutor de Cobre
Instalações Fixas em Geral	Circuito de Iluminação	1,5 mm ²
	Circuito de força	2,5 mm ²
	Circuito de Comandos/Controle	0,5 mm ²
Linhas Flexíveis com Cabos Isolados	Para Equipamento Específico	Utilizar especificação do fabricante/ Dimensionar através de sua carga
	Circuitos de Extra Baixa Tensão	0,75 mm ²

Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

O circuito de força, conforme indicado na Tabela 2.1, diz respeito aos circuitos de distribuição de tomadas, os quais são padronizados com correntes nominais entre 10 ampères e 20 ampères. Assim, a seção transversal descrita na tabela é adequada para garantir o fornecimento seguro de corrente alternada às cargas elétricas que empregam plugues compatíveis com os padrões específicos dessas tomadas.

2.7.1.3 Dimensionamento da Seção do condutor Neutro e de Proteção

Por norma, a seção dos condutores de neutro devem seguir o padrão das seções de condutores das fases em um circuito trifásico. Entretanto, segundo a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) em circuitos trifásicos cuja seção das fases (SF) for superior a 25 milímetros quadrados, é possível que os condutores neutro possuam seções menores, tal como na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Seção Reduzida para Condutores de Neutro. A primeira coluna refere-se à seção dos condutores de fase do circuito elétrico em análise, enquanto a segunda determina a seção do condutor de neutro que deve ser adotada.

Seção dos Condutores das Fases	Seção Redimensionada de Neutro
$SF \leq 25 \text{ mm}^2$	SF
35 mm ²	25 mm ²
50 mm ²	25 mm ²
70 mm ²	35 mm ²
95 mm ²	50 mm ²
120 mm ²	70 mm ²
150 mm ²	70 mm ²
185 mm ²	95 mm ²
240 mm ²	120 mm ²
300 mm ²	150 mm ²
400 mm ²	185 mm ²

Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

Essa norma deve ser utilizada exclusivamente em circuitos trifásicos equilibrados. A segunda exigência é que o condutor de neutro deve ser protegido contra sobrecorrentes, ou seja, esse também deve ser seccionado mediante um disjuntor e caso houver sobrecarga no neutro, esse tem a função de proteger o restante do circuito de distribuição. Outra exigência é que a corrente das fases não deve conter uma taxa de terceira harmônica e múltiplos superior a 15% (ASSOCIAÇÃO..., 2004). Caso contrário, a seção transversal do condutor de neutro, deve seguir o mesmo padrão da seção das fases. Um bom exemplo são os circuitos com alimentação trifásica 380 volts (F-F-F-N), em que se utilizada distribuições monofásicas de 220 volts (F-N), logo, a corrente de neutro ultrapassa a corrente das fases e, portanto, muitas vezes é necessário dimensionar o condutor neutro com seção maior que a dos condutores de fase.

Segundo a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) para os condutores de proteção, a seção mínima, em mm², não deve ser menor que o valor determinado pela equação (2.14), a seguir.

$$S_c = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (2.14)$$

Tal que, S_c é a seção do condutor, em milímetros quadrados, I é o valor eficaz, em ampères, da corrente de falta presumida, considerando falta direta, t é o tempo de atuação do dispositivo de proteção responsável pela transferência automática, em segundos. O fator k pode ser consultado nas tabelas 53, 54, 55, 56 e 57 da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), tal que suas variações existem pelo

tipo de material condutor, material de isolamento, aplicação de maneiras diferentes e as temperaturas inicial e final do condutor, em condições de funcionamento.

De maneira análoga ao dimensionamento da seção condutor pela equação (2.14), é possível utilizar a Tabela 2.3, desde que o material condutor seja o mesmo das fases, usualmente de cobre.

Tabela 2.3 – Seção Reduzida para Condutores de Proteção. A primeira coluna refere-se à seção dos condutores de fase do circuito elétrico em análise, enquanto a segunda determina a seção do condutor de proteção que deve ser adotada.

Seção dos Condutores das Fases	Seção Redimensionada de Proteção
$SF \leq 16 \text{ mm}^2$	SF
$16 \text{ mm}^2 < SF \leq 35 \text{ mm}^2$	16 mm ²
$SF > 35 \text{ mm}^2$	SF/2

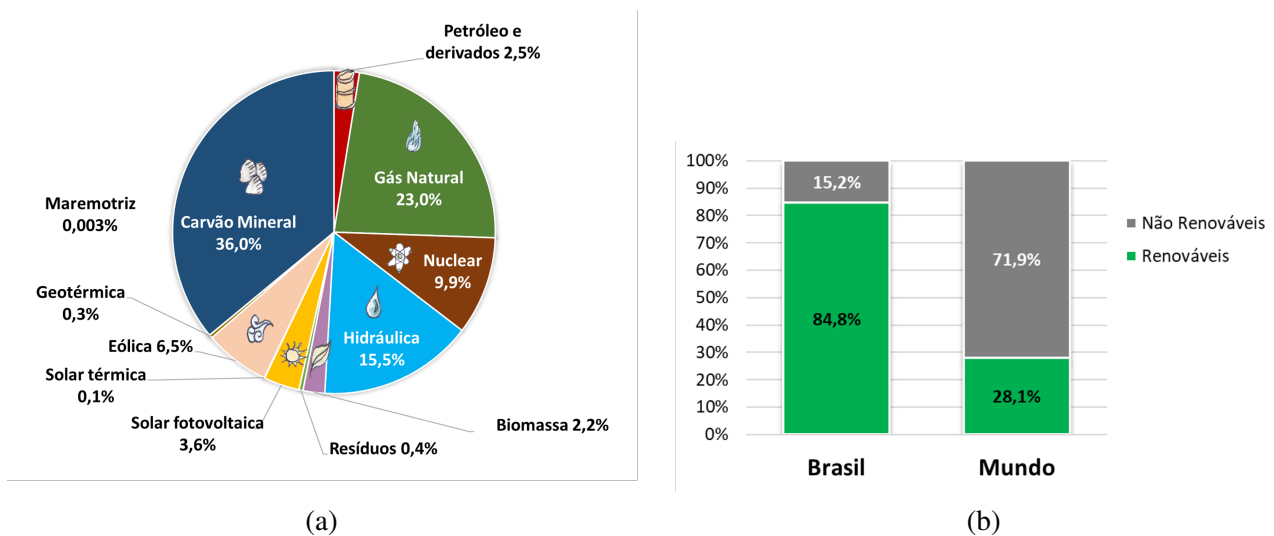
Fonte: Adaptada de (ASSOCIAÇÃO... , 2004)

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM *DATA CENTERS*

A energia elétrica é gerada a partir de diversas fontes energéticas, as quais passam por processos de transformação para serem utilizadas eficazmente em um amplo número de aplicações. Entretanto, é importante ressaltar que nem sempre essas fontes são renováveis, levantando uma significativa preocupação em relação ao uso consciente e sustentável da energia elétrica (ENERGÉTICA, 2023).

Diante do crescente impacto ambiental associado à geração de energia por meio de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis, há uma urgente necessidade de promover práticas que visem à conservação de recursos naturais e à redução das emissões de gases de efeito estufa. Assim, é imperativo que se adote uma abordagem responsável e criteriosa na utilização da energia elétrica, buscando formas de minimizar o desperdício e priorizando o uso de fontes de energia limpas e renováveis sempre que possível. Na Figura 3.1, estão dispostos os dados das matrizes elétricas e suas respectivas fontes, sejam estas renováveis ou não renováveis.

Figura 3.1 – Representação de Matrizes Elétricas. (a) Matriz Elétrica Mundial de 2021. (b) Utilização de Recursos Renováveis e Não Renováveis para a Geração de Energia Elétrica Brasileira e Mundial de 2021.



Fonte: (ENERGÉTICA, 2023).

É incontestável que os *data centers* possuem uma demanda alta de energia elétrica, não apenas para sustentar os equipamentos de tecnologia da informação (TI), mas também devido ao uso indispensável de sistemas de refrigeração para garantir sua operação adequada. Portanto, é de suma importância avaliar e dimensionar o consumo energético nos *sites* dos *data centers* e estabelecer padrões comparativos eficazes na melhoria contínua desses.

3.1 *DATA CENTER INFRASTRUCTURE EFFICIENCY*

A métrica *Data Center Infrastructure Efficiency* (DCiE), definida em português como Eficiência da Infraestrutura do *Data Center*, estabelece a comparação de todas as cargas elétricas dos equipamentos

de TI (C_{TI}) em relação a todas as cargas elétricas de infraestrutura do *site* (C_{INFRA}) (SUNBIRD, 2020), tal que C_{TI} e C_{INFRA} são medidas em kilovolt-ampères (kVA). Logo, para termos de comparação e melhor visualização da eficiência do *data center*, é possível mostrar essa abordagem através da equação (3.1):

$$DCiE = \frac{\sum C_{TI}}{\sum C_{INFRA}} * 100 \% \quad (3.1)$$

Existem vários fatores que influenciam no consumo energético do *data center*, não é possível alcançar a eficiência de máxima de 100%. Os *data centers* com maior índice de eficiência são aqueles que utilizam refrigeração por imersão (*Immersion Cooling*) em *data centers* de pequena escala, entretanto, o uso dessa tecnologia vem crescendo (PAMBUDI et al., 2022).

3.2 POWER USAGE EFFICIENCY

Definida em português como Eficiência do uso de Energia Elétrica, esse método é o contrário do DCE. Portanto, ela estabelece a comparação de todas as cargas elétricas de infraestrutura do *site* (C_{INFRA}) em relação a todas as cargas elétricas dos equipamentos de TI (C_{TI}), tal que C_{INFRA} e C_{TI} são medidas em kilovolt-ampères (kVA). A métrica Power Usage Effectiveness (PUE) foi introduzida em 2006 por Malone e Belady (BRADY et al., 2013), afirmando que para alcançar métricas de PUE baixo, é necessário otimizar os sistemas de refrigeração de um *data center*, visando um consumo energético mais baixo. Novas tecnologias de controle e gerenciamento se modelaram em ambientes mais novos de *data centers*, mas baixar os níveis de PUE em *data centers* de grande escala é uma tarefa mais difícil (CHOI; PARK; MOON, 2022). Assim, essa abordagem é dada pela equação (3.2):

$$PUE = \frac{\sum C_{INFRA}}{\sum C_{TI}} \quad (3.2)$$

Através da aplicação da equação (3.2) são encontrados valores a partir de uma unidade, tal que em um ambiente de *data center* ideal o valor de PUE seria 1, representando 100% da carga total disponível utilizada para alimentar os equipamentos de TI do *site*. Conforme o estudo de (DYNAMICS, 2023), *data centers* que priorizam a eficiência operacional podem alcançar valores de PUE de 1,2 ou menores. No entanto, muitas empresas que operam *data centers* com alguns *sites* na América Latina estão empenhadas em aprimorar a eficiência energética de suas operações, buscando reduzir a média de PUE, que atualmente varia entre 1,48 e 1,51. Portanto, os níveis de PUE aceitáveis para *data centers* considerados eficientes situam-se entre 1,2 e 1,5.

3.3 CONCEITOS PARA MÉTRICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATA CENTERS

Segundo (SUNBIRD, 2020), existem várias outras formas de dimensionar a eficiência de alguns sistemas de um *data center*, considerando desde conceitos gerais, até a medição de eficiência energética de dispositivos específicos do *data center*. Portanto, considerando a diversidade dos projetos dos *sites*, é essencial buscar inicialmente métricas direcionadas a sistemas específicos. Posteriormente, deve-se

aplicar ferramentas que avaliem a eficiência de sistemas mais abrangentes do *data center*. Na Tabela 3.1 são apresentadas várias formas realizar tal avaliação.

Tabela 3.1 – Conceitos de Métricas de Eficiência em *Data Centers*. A primeira coluna indica o tipo de métrica de eficiência, a segunda apresenta a referência utilizada para seu cálculo, a terceira explica o objetivo da métrica e a quarta define seu conceito.

Métrica	Cálculo	Objetivo	Medidas
Eficiência do fluxo de ar	Potência do ventilador [kVA] / Fluxo de ar [CFM]	Minimizar	Eficiência com que o ar refrigerado circula no sistema de ar-condicionado
Fator de capacidade de resfriamento (CCF)	Capacidade de resfriamento [kVA] / Carga crítica [kVA]	Minimizar	Eficiência geral do sistema de ar-condicionado
Eficiência de desempenho do <i>data center</i> (DCPE)	Trabalho Útil [kVA] / Carga Total de Infraestrutura [kVA]	Maximizar	Eficiência geral do desempenho do <i>data center</i>
Eficiência da reutilização de energia (ERE)	Energia Reutilizada [kVA] / Energia de TI [kVA]	Minimizar	Eficiência energética da energia reutilizada fora do <i>data center</i>
Relação de energia fixa para variável (FVER)	Energia Fixa [kVA] / Energia Variável [kVA]	Minimizar	Energia que pode ser direcionada para redução ou eliminação
Coefficiente de Energia Verde (GEC)	Energia Verde [kVA] / Energia Total [kVA]	Maximizar	Energia renovável gerada no site
Eficiência no Uso da Água (WUE)	Uso de Água [l] / Energia de TI [kVA]	Minimizar	Eficiência do uso de água no <i>data center</i>
Densidade de potência do <i>data center</i> (DCPD)	Consumo de energia do rack [kVA] / Rack	Maximizar	Como o consumo de energia do rack se compara à capacidade de energia do rack
Eficiência Energética da UPS (UPEE)	Alimentação de entrada da carga e dos sistemas conectados [kVA] / potência total de entrada [kVA]	Maximizar	Quanta energia é desperdiçada operando uma UPS

Fonte: Adaptada de (SUNBIRD, 2020).

3.4 ASPECTOS RELEVANTES NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As demandas crescentes por expansões dos *data centers* carrega consigo o aumento do consumo de energia proporcional. A utilização de fontes renováveis é uma vertente que vem crescendo junto a estas expansões, por exemplo, a energia solar fotovoltaica tem sido uma alternativa viável por sua eficiência e facilidade de implementação. Entretanto, é fato que a energia proveniente de fontes renováveis pode ser instável e não deve ser a fonte principal de energia para suprir as demandas dos *data centers* (BRITO; MATAI; SANTOS, 2023). A utilização de energia proveniente de fontes renováveis (energia eólica e fotovoltaica) em conjunto a sistemas de armazenamento (baterias), inversores e controladores, é uma estratégia promissora de estudos para promover a sustentabilidade e a segurança energética.

Segundo (MAHBOD et al., 2022), a eficiência de energia em um *data center* pode ser aumentada com o uso da refrigeração e ventilação sob demanda, tomando essa como proporcional à necessidade de processamento dos equipamentos dos racks, ou seja, o controle do funcionamento dos equipamentos de refrigeração e ventilação é acelerado quando existe uma demanda alta de processamento e desacelerado quando a demanda de processamento começa a declinar. Esse estudo contou ainda com a aplicação de conceitos como o *DRL — Deep Reinforcement Learning* ou aprendizado por reforço profundo, que consiste na aplicação de algoritmos para interpretar rotinas e estabelecer estratégias de controle dos sistemas relacionados a refrigeração dos *data centers*. Resumidamente, esse método analisa o problema de um agente computacional que aprende a tomar decisões por tentativa e erro, incorporando um aprendizado profundo à solução, permitindo que os agentes tomem decisões a partir de dados de entrada não estruturados.

4 PROJETO ELÉTRICO DE UM QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE BAIXA TENSÃO E DE UM QUADRO DE AUTOMAÇÃO PARA UM *DATA CENTER*

A complexidade de um projeto de distribuição elétrica de um *data center* está diretamente ligada à demanda elétrica do *site*. Portanto, existem projetos específicos para diferentes capacidades e finalidades. Sucintamente, essa demanda elétrica pode ser avaliada pelo número de *racks* no *data center*, uma vez que o dimensionamento dos demais equipamentos (*facilities*) serão diretamente proporcionais a disposição dos dispositivos nesses *racks*.

Além disso, é importante considerar outros fatores que influenciam a complexidade do projeto como a redundância, a confiabilidade, a eficiência energética e as futuras expansões. Cada um desses elementos deve ser cuidadosamente planejado para garantir a operação contínua e segura do *data center*. Portanto, na construção de um *data center* devem ser integrados os projetos de infraestrutura ou arquitetônico, de telecomunicações, elétrico e o mecânico (destinado aos equipamentos de refrigeração e hidráulica).

Os principais elementos do projeto elétrico de um *data center* são os quadros de distribuição elétrica. Existem diversos tipos de quadros de distribuição destinados a um *data center*, tal que esses tem a finalidade de distribuição elétrica e proteção para os diferentes tipos de equipamentos do *site*. Resumidamente existem os quadros de distribuição elétrica de potência e os quadros de distribuição elétrica de comandos. O primeiro é destinado à distribuição geral para os equipamentos cujas cargas elétricas são relevantes, já o segundo, a todos os sistemas de comandos de acionamentos, controladores, circuitos de automação e entre outros.

O projeto elétrico de um quadro de distribuição é feito a partir do diagrama elétrico unifilar ou multifilar. O diagrama elétrico unifilar apresenta uma visão simplificada do projeto, representando os condutores de um circuito por uma única linha. Já o diagrama multifilar representa detalhadamente os condutores de cada circuito elétrico proporcionando uma visão detalhada e precisa de todo sistema elétrico do quadro de distribuição, o que contribui diretamente para a confecção (montagem elétrica) e as manutenções preventivas e principalmente corretivas do sistema.

Nesse capítulo, além de abordar os requisitos e características para um projeto de distribuição elétrica de um *data center*, também é mostrado um projeto para um *data center* de pequeno porte, estruturado para 6 *racks* e com previsão de expansão elétrica para até 12 *racks*.

4.1 QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)

O QGBT é caracterizado pelo primeiro quadro de distribuição elétrica após a entrada de energia de baixa tensão no *data center* (FACCIONI. . . , 2016). Ele é responsável por distribuir a energia elétrica recebida das concessionárias de energia elétrica, como também do grupo motor gerador (GMG) e da energia estabilizada do sistema de UPSs. Nesta seção é apresentado o dimensionamento de todo o QGBT, tal que o diagrama multifilar desse é mostrado no Anexo A.

Para o projeto de distribuição elétrica de um *data center* que atenda os requisitos da classificação *tier 3* (IV et al., 2008), o QGBT é dividido em dois quadros de distribuição iguais e redundantes,

denominados como Quadro de Distribuição A (QDA) e Quadro de Distribuição B (QDB). Eles são iguais por existir a entrada de energia de duas fontes de alimentação distintas e cada quadro de distribuição é assegurado por um grupo motor gerador individual dimensionado para suportar a carga exigida pelo *data center*. em casos de queda do fornecimento das concessionárias. Vale ressaltar ainda que cada quadro de distribuição elétrica, que compõe o QGBT, possui uma UPS para abastecer a demanda dos equipamentos críticos do *data center*, interligados as PDUs dos *racks*.

Cada um dos quadros de distribuição do QGBT possuem leitos específicos. Há um leito dedicado exclusivamente à distribuição de energia elétrica proveniente do QDA, denominado leito A, e outro leito exclusivamente para distribuição de energia proveniente do QDB, denominado leito B. Portanto, os condutores de cada circuito seguem para os *racks* por caminhos diferentes e possuem PDUs específicas para cada um deles.

4.1.1 Dimensionamento do Circuito de Proteção Geral

O circuito de proteção geral é dimensionado conforme o disjuntor geral (DJG) e os dispositivos de acionamento elétrico, como as chaves de comutação ou chaves de transferência automáticas. O disjuntor geral é responsável por proteger todo o circuito de distribuição de potência do quadro elétrico, atuando para desconectar toda a carga elétrica do quadro de distribuição da fonte de alimentação (concessionária ou GMG) em casos de sobrecargas e curto-circuitos. A chave de transferência, por sua vez, é utilizada para conectar ou desconectar os barramentos do QDA e do QDB. Em caso de falha da fonte A (concessionária A ou gerador A), a chave de transferência permite interligar o barramento do QDA ao QDB, garantindo que as cargas elétricas do quadro de distribuição A permaneçam em pleno funcionamento, utilizando as fontes de alimentação do QDB. Além disso, a utilização de chaves de transferência automáticas pode proporcionar uma transição rápida e eficiente entre as fontes de alimentação, minimizando o tempo de interrupção e assegurando a continuidade do fornecimento de energia.

4.1.1.1 Dimensionamento do Disjuntor Geral (DJG)

Para este quadro de distribuição elétrica é prevista uma carga elétrica máxima de 40 Kilovolt-ampères, portanto, a corrente para essa potência pode ser encontrada através da equação (2.12), como mostrado na equação (4.1):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} V_{linha}} = \frac{40}{\sqrt{3} * 220} = 104,9728 \text{ A} \quad (4.1)$$

Como pode ser visto, a corrente nominal máxima desse quadro de distribuição elétrica é de cerca de 105 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, como calculado na equação (4.2):

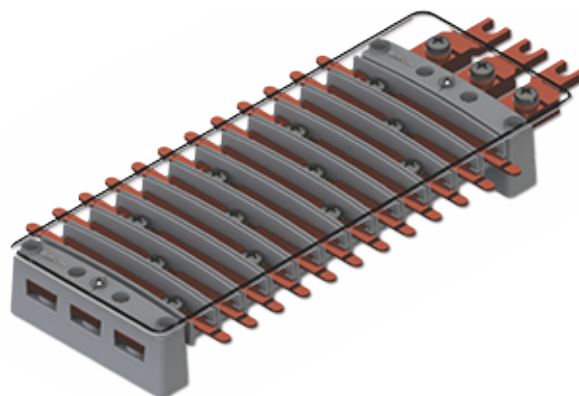
$$I_{disjuntor} = 105,0 * 1,15 = 120,75 \text{ A} \quad (4.2)$$

Considerando que a corrente nominal do circuito, já com acréscimo do fator de segurança, é de aproximadamente 121 ampères e conforme a disponibilidade comercial (WEG, 2023c), o disjuntor adequado é aquele tripolar com corrente nominal de 125 ampères, assim o modelo “DWP125L-125-3” é adequado para a proteção de todo o circuito do QGBT.

4.1.1.2 Barramento de Distribuição de Entrada e da Chave Seccionadora

O barramento de saída do disjuntor geral do QDA (ou do QDB) tem a função de distribuir a tensão trifásica para os disjuntores dos demais circuitos e consequentemente ele deve ser dimensionado para suportar a corrente nominal máxima desse disjuntor geral. Portanto, o barramento trifásico utilizado será o BRUM Volt Plus de 24 polos e modelo "K25B24"(BRUM, 2019), que suporta uma corrente nominal máxima de 250 ampères, suficiente para realizar a distribuição para cargas elétricas dos quadros do QGBT, tal barramento é ilustrado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Barramento Trifásico de 24 Polos BRUM.



Fonte: (BRUM, 2019).

A chave seccionadora também deve ser dimensionada para suportar uma corrente nominal máxima do disjuntor geral. É importante ressaltar que a chave deve comutar também o condutor de neutro, conforme a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), que define “quando exigido o seccionamento do condutor neutro, as operações de abertura e fechamento dos circuitos correspondentes devem ser de modo a garantir que o condutor neutro não seja seccionado antes nem restabelecido após os condutores de fase”. Assim, isso garante que o mesmo seja seccionado juntamente com as fases para interligar os barramentos do QDA e do QDB. Logo, será utilizada uma chave de seccionadora rotativa tetrapolar e conforme (SIBRATEC, 2020), o modelo “SGL-Z-4P 160A” será adequado para a comutação dos barramentos do circuito do QGBT. Cada quadro de distribuição elétrica que compõe o QGBT possui uma chave seccionadora. Assim, estas são posicionadas em série e qualquer uma destas que for atuada, possibilitará a união ou separação dos barramentos dos quadros de distribuição A (QDA) e B (QDB).

4.1.1.3 Dimensionamento da Seção dos Condutores

O dimensionamento das seções dos condutores de entrada do QGBT devem seguir padrões estabelecidos pela ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004). Os condutores provenientes da concessionária

passam pelos GMGs, instalados em uma sala ao lado da sala dos quadros de distribuição elétrica. Os condutores são cabos unipolares que entram na sala de quadros de distribuição mediante dois eletrodutos enterrados. De acordo com a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” (ASSOCIAÇÃO... , 2004) trata-se do método de instalação “61A”, que define “Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não ventilada enterrado(a)” e resulta no método de referência “D”. Portanto, através desse método de referência, considerando a utilização de cabos unipolares de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D”, a seção dos condutores do QDA e do QBD, para um corrente nominal máxima de 125 ampères, deve ter no mínimo 35 milímetros quadrados (mm²). Para maior segurança, são utilizados condutores com seção de 50 mm² para cada uma das três fases (R, S e T), sendo direcionadas à sala de quadros de distribuição por um único eletroduto. Já o outro eletroduto disponível, direcionado à sala de quadros de distribuição, é destinado aos condutores de neutro e de aterramento.

Considerando o mesmo método de instalação, a seção dos condutores das fases e por se tratar de um sistema elétrico trifásico equilibrado, segundo as Tabelas 2.2 e 2.3, é possível utilizar condutores para neutro e aterramento com seção de 25 mm². A queda de tensão nos condutores desse circuito pode ser desprezada, visto que foram utilizadas seções maiores para os condutores, ou seja, a seção dos condutores está superdimensionada e a distância de instalação dos condutores do GMG em relação aos quadros de distribuição não é superior a 6 metros.

4.1.2 Dimensionamento do Circuito de Proteção da *Uninterruptible Power Supply* (UPS)

O projeto do *data center* conta com duas UPSs com potência aparente de 20 Kilovolt-ampères, cuja entrada e saída de energia alternada é trifásica 220 volts, a tensão bifásica é 220 volts e monofásica é de 127 volts. A corrente para essa potência aparente pode ser encontrada através da equação (2.12), como mostrado na equação (4.3):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{linha}} = \frac{20}{\sqrt{3} * 220} = 52,4864 \text{ A} \quad (4.3)$$

Considerando um fator de segurança de 15% de acréscimo na corrente nominal do circuito, é possível encontrar a corrente do disjuntor, como calculado na equação (4.4):

$$I_{disjuntor} = 52,4864 * 1,15 = 60,3593 \text{ A} \quad (4.4)$$

Com o valor da corrente nominal do circuito e conforme a disponibilidade comercial (WEG, 2023c), o disjuntor adequado é aquele tripolar com corrente nominal de 63 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. Assim, o modelo “MDWP-B63-3” é adequado para a proteção do circuito da UPS.

O projeto também prevê a instalação de um disjuntor idêntico na saída da UPS, uma vez que é necessário proteger a saída de energia da UPS, limitando curtos-circuitos da carga elétrica a esse disjuntor, protegendo a UPS de danos potenciais. Um terceiro disjuntor ainda é adicionado como

bypass da UPS em casos de falhas, desligamentos ou manutenção desta, possibilitando criar outro caminho de fornecimento de energia elétrica, para o manutenção do funcionamento dos equipamentos interligados à UPS.

O *bypass* de energia consiste em um dispositivo que permite a transferência temporária (emergente) de energia elétrica de um circuito principal para o circuito de *bypass*. Para isto, podem ser utilizados chaves de transferência e/ou disjuntores, já que através desses é possível fazer a comutação e por conseguinte realizar o desvio (INTEL, 2023).

O procedimento de troca da UPS consiste no desligamento do disjuntor de saída da UPS, seguido do desligamento do disjuntor de entrada da UPS e, por fim, na ligação do disjuntor do circuito de *bypass*. Atualmente, é seguro realizar a remoção de todos os componentes da UPS e removê-la do local de instalação. Algumas UPSs ainda contam com *bypass* interno, no qual o próprio dispositivo realiza a interligação direta entre o circuito de entrada e o circuito de saída da UPS. O benefício desse método é que todo o processo de transferência ocorre sem interrupção, ou seja, os equipamentos ligados à UPS nunca deixam de receber energia elétrica, ao contrário do método de comutação manual já citado, em que existe a interrupção de energia elétrica.

Uma questão importante em relação à carga do *rack* é que a UPS deve ser dimensionada para oferecer uma boa autonomia aos equipamentos em caso de falha da alimentação, tal que a autonomia é disponibilizada no manual do fabricante. Outro aspecto relevante é que o módulo de baterias dessa UPS por ser expandindo, garantindo uma autonomia maior para as cargas elétricas desta.

Para esse projeto, é previsto a instalação de duas UPSs trifásicas 220 volts de 20 Kilovolt-ampères, sendo uma utilizada para o circuito A e outra para o circuito B. Em caso de falha ou não disponibilidade de qualquer uma delas, a UPS do circuito em disponibilidade fará a alimentação da carga elétrica.

4.1.2.1 Barramento de saída da UPS (Barramento Estabilizado)

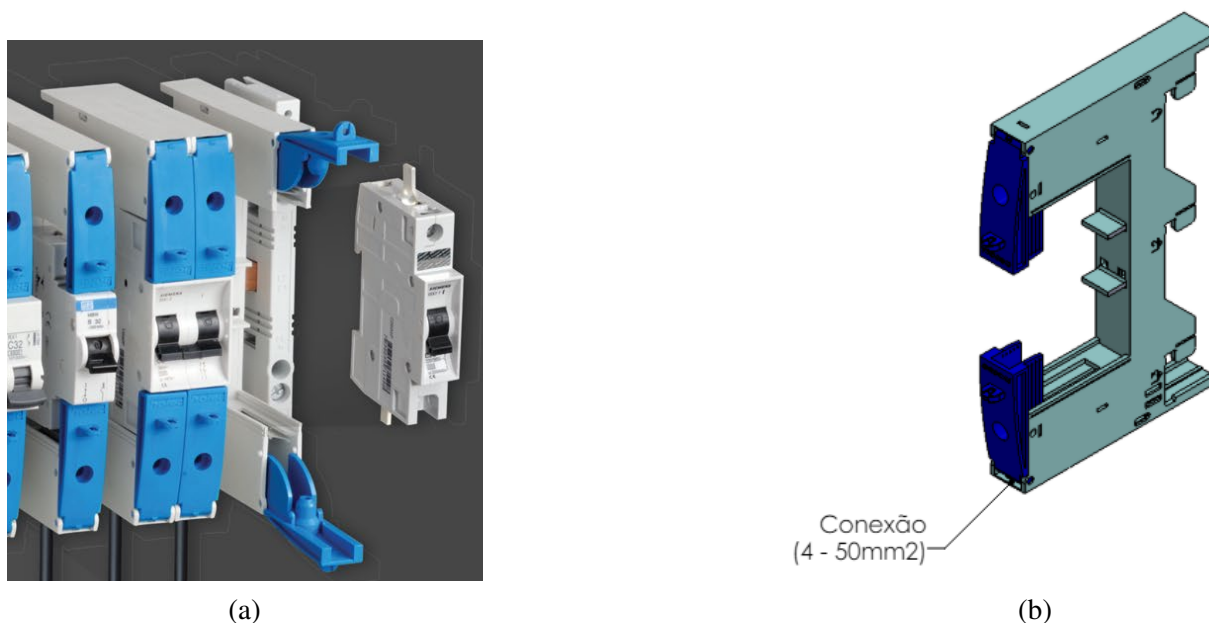
O barramento do disjuntor de saída da UPS tem a função de distribuir a tensão alternada estabilizada¹ para os disjuntores das PDUs dos *racks*, consequentemente ele deve ser dimensionado para suportar a corrente nominal máxima do disjuntor tripolar de 63 ampères. Portanto, o barramento trifásico utilizado será o BRUM Volt Plus de 36 polos e modelo "K25B36"(BRUM, 2019), que suporta uma corrente nominal máxima de 250 ampères, suficiente para realizar a distribuição de cargas elétricas para os 6 *racks*, que futuramente serão expandidos, para 12 *racks*. Tal barramento é semelhante ao da Figura 4.1, a diferença é o número de polos de saída disponíveis.

Uma solução para facilitar a substituição dos disjuntores dispostos no barramento é a utilização de bases adaptadoras da empresa WÖHNER (WÖHNER, 2023) que são definidas como bases *plug-in*², veja a Figura 4.2. Essas bases adaptadoras suportam uma corrente nominal máxima de 63 ampères e cada uma delas serve para um polo do disjuntor. Dessa forma, essas bases são utilizadas como adaptadoras dos disjuntores bipolar das PDUs, dispostas no barramento tripolar BRUM.

¹ Energia com menos oscilações e sem interrupções que podem trazer riscos aos equipamentos

² Tradução: Plugar

Figura 4.2 – Base adaptadora Plug-in WÖHNER. (a) Instalação de disjuntores na base adaptadora. (b) Vista isométrica da base adaptadora especificando a seção mínima e máxima para as conexões em milímetros quadrados.



Fonte: Adaptada de (WÖHNER, 2023).

Portanto, com a utilização dessa solução, é possível realizar a troca de um disjuntor do barramento sem a necessidade de remover as conexões, já que estas ficam fixas na base adaptadora e apenas o disjuntor é removido, conforme ilustrado na Figura 4.2a.

4.1.2.2 Dimensionamento da Seção dos Condutores

Os condutores saem do QDA e do QDB e são direcionados à UPS A e B, através de leitos para cabos. Esses retornam pelo mesmo caminho e o dimensionamento das seções desses, devem seguir padrões estabelecidos pela ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004). Portanto, segundo a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” se trata do método de instalação “16”, que define “Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito” e resulta no método de referência “E”, por se tratar da utilização de cabos multipolares da empresa Prysmian de modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” (PRYSMIAN, 2018).

Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos multipolares de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 39 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G”, a seção de três dos condutores carregados, para uma corrente nominal máxima de 75 ampères, devem ser de cabos multipolares com vias de seção igual a 10 milímetros quadrados (mm²).

Considerando que a distância da saída dos cabos do QGBT até a UPS pode chegar a 30 metros, é necessário calcular a queda de tensão nesse condutor. Segundo a ABNT NBR 5410, “Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%”, portanto, 4% de 220 volts representa uma queda de tensão máxima de 8,8 volts.

A queda de tensão (Q_T) pode ser calculada, em volts, a partir dos dados fornecidos pelo fabricante dos condutores, como especificado na equação (4.5) (SIL, 2019):

$$Q_T = QT * I_c * L \quad (4.5)$$

onde QT é o valor da queda de tensão tabelado cuja unidade de medida é V/A*km, I_c é a corrente do circuito e L é a distância do condutor elétrico da fonte até a carga elétrica. De acordo com o fabricante de cabos multipolares para o modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” de 5x10mm², a queda de tensão é de 3,9 V/A*km (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão para um circuito de corrente nominal máxima de 63 ampères e uma distância de 36 metros (0,036 quilômetros), pode ser calculada como:

$$Q_T = 3,9 * 63,0 * 0,036 = 8,8452 \text{ V} \quad (4.6)$$

Para esse condutor, a queda de tensão superou a permitida por norma (8,8452 V > 8,8 V), sendo necessário calcular a queda de tensão para um um cabo multipolar 5x16 mm², para esse, a queda de tensão é de 2,5 V/A*km (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92, a queda de tensão é:

$$Q_T = 2,5 * 63,0 * 0,036 = 5,67 \text{ V} \quad (4.7)$$

Assim, como a queda de tensão está no limiar permitido por norma (5,67 V < 8,8 V), deve ser utilizado o cabo multipolar 5x16mm², da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”.

4.1.2.3 Dimensionamento do Circuito de Proteção dos Racks

O circuito de alimentação dos *racks* é dimensionado conforme o conjunto das cargas elétricas dos equipamentos que serão utilizados nesse. O dispositivo responsável por distribuir o circuito de alimentação do rack é a *Power Distribution Unit* (PDU), que possui uma entrada de energia protegida por um disjuntor. Esse disjuntor deve ser dimensionado mediante à carga do rack. Para o projeto em questão, serão utilizadas PDUs de 24 tomadas (24 saídas de tensão alternada), estas tomadas são de até 20 ampères e seguem o padrão ABNT NBR 14136 (ASSOCIAÇÃO..., 2002), como na Figura 4.3.

Figura 4.3 – *Power Distribution Unit* (PDU) de 24 tomadas NBR 14136 de 20 ampères.



Fonte: (MULTIWAY, 2018).

Para esse projeto é previsto uma carga elétrica de 6 Kilovolt-ampères de potência aparente pelos dispositivos do rack, com alimentação bifásica de tensão alternada igual a 220 volts. Através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{6000}{220} = 27,2727 \text{ A} \quad (4.8)$$

A corrente nominal máxima desse circuito é de aproximadamente 27,3 ampères e a proteção do circuito é feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Conforme o fabricante, deve ser aplicado um

fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 27,2727 * 1,15 = 31,3636 \text{ A} \quad (4.9)$$

Comercialmente, o disjuntor adequado é aquele bipolar com corrente nominal de 32 A, tal que deve ser utilizado um para a proteção da PDU A e outro para a PDU B, dispostas no *rack* (WEG, 2023c). Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. O modelo “MDWP-B32-2” é adequado para a proteção do circuito do *rack*.

4.1.2.3.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

As PDUs possuem alimentação bifásica 220 volts e necessitam de um condutor de aterramento, devem ser utilizados cabos multipolares de três vias (cabos tripolares) para a distribuição de energia elétrica a partir do circuito estabilizado. Em resumo, esses cabos multipolares saem do QGBT e se direcionam até a parte superior dos *racks* através de leitos. Conforme, a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” (ASSOCIAÇÃO... , 2004) se trata do método de instalação “16”, que define “Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito” e resulta no método de referência “E”, por se tratar da utilização de cabos multipolares da empresa Prysmian de modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” (PRYSMIAN, 2018).

Utilizando este método de referência, considerando a utilização de cabos multipolares de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 39 — Capacidades de condução de corrente (em ampère) para os métodos de referência E, F e G”, a os condutores dos *racks* para dois condutores carregados e uma corrente nominal máxima de 42 ampères, devem ser de cabos multipolares com vias de seção igual a 4 mm².

Considerando que a distância da saída dos cabos do QGBT até os *racks* pode chegar a 30 metros, é necessário calcular a queda de tensão nesse condutor. Conforme a ABNT NBR 5410, “Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%”, portanto, 4% de 220 volts representa uma queda de tensão máxima de 8,8 volts.

Segundo o fabricante de cabos multipolares para o modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” de 3x4mm², a queda de tensão é de 10,1 V/A*km (volt/ampères*quilômetro) (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. A queda de tensão para um circuito de corrente nominal máxima de 32 ampères e uma distância de 30 metros (0,03 quilômetros), pode ser calculada pela equação (4.5) e resulta no valor 9,696 volts. Para esse condutor, a queda de tensão superou a permitida por norma (9,696 V > 8,8 V). Nesse caso, é necessário calcular a queda de tensão para um um cabo multipolar 3x6 mm² para o qual a queda de tensão é 6,7 V/A*km (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão calculada é 6,432 volts. Como essa queda de tensão está no limiar permitido por norma (6,432 V < 8,8 V), deve ser utilizado o cabo multipolar 3x6mm², da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”.

4.1.2.4 Dimensionamento da Proteção do Circuito Comandos Alimentado pela Saída da UPS

Para esse projeto, o circuito de comandos disposto no QDAUX possui sua alimentação interligada ao barramento de saída de energia das UPSs. Isso garante o pleno funcionamento de alguns *facilities* do *data center* tal qual, o controlador lógico programável, os controladores de acesso e travas magnéticas das portas, o circuito de acionamento dos ares-condicionados, a sinalização de emergência e o sistema de combate a incêndio.

É prevista uma carga elétrica máxima de 4 Kilovolt-ampères de potência aparente, com alimentação bifásica 220 volts. Logo, é possível encontrar a corrente elétrica máxima, através da equação (2.7):

$$I = \frac{4000}{220} = 18,1818 \text{ A} \quad (4.10)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 18,2 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 18,1818 * 1,15 = 20,9090 \text{ A} \quad (4.11)$$

Portanto, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele bipolar com corrente nominal de 20 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-B20-2” será adequado para a proteção do circuito de comandos.

4.1.2.4.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

Por se tratar de um circuito de força e conforme a Tabela 2.1 da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), a seção mínima para esses condutores deve ser de 2,5 mm². Entretanto, através da “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” se trata do método de instalação “31A”, que define “Cabo multipolar em eletrocabo sobre parede em percurso horizontal ou vertical” e resulta no método de referência “B2”. Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D”, a seção para dois condutores carregados para uma corrente nominal de até 30 ampères, deve ser de no mínimo 2,5 milímetros quadrados (mm²). A queda de tensão nos condutores desse circuito pode ser desprezada, visto que a distância do QDA e do QDB até o QDAUX é menor que 4 metros e os condutores estão superdimensionados para a corrente nominal máxima de 20 ampères desse circuito.

4.1.3 Dimensionamento do Circuito de Proteção Contra Surtos Elétricos

A proteção contra surtos elétricos no QGBT é possível com a utilização de DPS (PAULINO et al., 2016), portanto, são protegidas as 3 fases de entrada do quadro de distribuição elétrica (R, S e T) e o

neutro (N).

Segundo a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), “A possibilidade de falha interna, fazendo com que o DPS entre em curto-circuito, impõe a necessidade de dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, para eliminar tal curto-circuito”. Portanto, além dos DPS serem instalados após o disjuntor geral do QGBT, será utilizado um disjuntor tripolar para isolar o circuito de proteção contra surtos. Isso garante que além de proteger esse circuito individualmente, ainda possibilita a troca dos DPS sem o desligamento do DJG do QGBT, mantendo em pleno funcionamento das cargas elétricas desse quadro de distribuição.

O DPS atua monitorando apenas a tensão do circuito, logo, sua carga elétrica é irrelevante e o disjuntor utilizado é aquele tripolar de modelo “MDWP-B10-3” (WEG, 2023c), dimensionado para uma corrente nominal máxima de 10 ampères. Portanto, em qualquer caso de falha interna de algum dos DPS, o disjuntor tripolar irá atuar protegendo o circuito de saída do DJG do QGBT.

4.1.3.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

O dimensionamento da seção dos condutores do circuito de proteção contra surtos elétricos é definido na ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), tal que “em termos de seção nominal, o condutor das ligações DPS-PE, no caso de DPS instalados no ponto de entrada da linha elétrica na edificação ou em suas proximidades, deve ter seção de no mínimo 4 mm² em cobre ou equivalente”. Portanto, serão utilizados condutores de seção igual a 6 mm² para os condutores das fases (R, S e T), para o condutor de neutro (N) e o de aterramento (PE).

4.1.4 Dimensionamento do Circuito de Proteção do Quadro de Distribuição Auxiliar (QDAUX)

O circuito do Quadro de Distribuição Auxiliar (QDAUX) tem início no barramento de saída do disjuntor geral dos quadros de distribuição do QGBT. Em outras palavras, existe um disjuntor do QDAUX no QDA e outro no QDB, garantindo a redundância de duas fontes de alimentação. O posicionamento do disjuntor geral do QDAUX é estratégico para garantir que as conexões de saída (direcionadas ao QDAUX) também sejam protegidas contra sobrecargas e curtos-circuitos.

Para o QDAUX, é previsto uma carga elétrica máxima de 22 Kilovolt-ampères de potência aparente. Portanto, utilizando a equação (2.12), obtém-se:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} V_{linha}} = \frac{20}{\sqrt{3} * 220} = 52,4864 \text{ A} \quad (4.12)$$

Logo, considerando um fator de segurança de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, obtém-se:

$$I_{disjuntor} = 52,4864 * 1,15 = 60,3593 \text{ A} \quad (4.13)$$

Considerando que a corrente nominal do circuito, já acrescida do fator de segurança, é de aproximadamente 60,36 ampères e conforme a disponibilidade comercial (WEG, 2023c), o disjuntor adequado seria aquele tripolar com corrente nominal de 63 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor

entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-B63-3” será adequado para a proteção do circuito do QDAUX.

Os quadros de distribuição A e B possuem disjuntores de saída para o QDAUX, garantindo o pleno funcionamento do QDAUX em caso de falha de uma das concessionárias ou de um dos GMGs. Entretanto, por se tratarem de duas fontes de energia elétrica distintas, as saídas não podem ser paralelas, sendo necessário que apenas uma delas alimente a carga elétrica total do QDAUX. Portanto, é utilizada uma chave de transferência automática, permitindo a entrada de duas fontes de energia elétrica e uma única saída dessas.

4.1.4.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

As seções dos condutores de saída dos disjuntores gerais do QDAUX devem seguir padrões estabelecidos pela ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004). Os condutores provenientes do QDA e QDB são direcionados ao QDAUX através dos organizadores de cabos, que estão posicionados acima dos quadros de distribuição e apoiados na parede, portanto, estas conexões até o QDAUX não percorrem um caminho maior que quatro metros totais. Portanto, o condutor utilizado será um cabo multipolar de 5 vias, para as três fases (R, S e T) e os condutores não carregados de neutro (N) e de aterramento (PE). Assim, segundo a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” (ASSOCIAÇÃO... , 2004) se trata do método de instalação “31A”, que define “Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical” e resulta no método de referência “B2”. Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 37 - Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D”, a seção de três condutores carregados para uma corrente nominal máxima de 80 ampères, deve ser de 16 milímetros quadrados (mm²). Essa configuração deve ser utilizada, pois utilizando cabos com condutores de seção igual a 10 mm², a corrente nominal máxima de aplicação em um circuito é de 60 ampères. Dado que a distância entre os quadros de distribuição elétrica é desprezível e a seção dos condutores está dimensionada acima do limiar necessário, a queda de tensão pode ser desconsiderada.

4.2 QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO AUXILIAR (QDAUX)

O QDAUX é um quadro de distribuição secundário ao QGBT, responsável por realizar o controle dos *facilities* do *data center*. Assim sendo, esse quadro distribui a alimentação proveniente do QGBT para realizar o controle sobre os dispositivos relevantes para o funcionamento do *data center*, e para isto, é utilizado um Controlador Lógico Programável (CLP) que centraliza diversas informações para o gerenciamento *data center*. Essa seção apresentará o dimensionamento de todo o QDAUX, tal que o diagrama multifilar desse é demonstrado no Anexo B.

Dentre os dispositivos denominados como *facilities* se encontram principalmente sensores, os quais são responsáveis por enviar ao CLP, parâmetros como temperatura e umidade do corredor frio, temperatura do corredor quente, *status* das portas que dão acesso ao *data center*, *status* do acionamento dos ares-condicionados, *status* dos parâmetros da UPS e dos GMGs e entre outros. Portanto, essas informações são retornadas ao CLP no QDAUX, o qual é responsável pela tomada de decisões a partir

destas. Assim, o CLP fica responsável por enviar comandos para dispositivos de acionamento, tal qual, contadores, relés, sinalizadores, válvulas, atuadores elétricos e entre outros.

4.2.1 Circuito da Chave de Transferência Automática 1

A chave de transferência automática 1 é responsável por realizar a comutação automática entre a alimentação proveniente do QDA e entre a do QDB. Assim, a carga elétrica total do QDAUX não pode ultrapassar uma corrente nominal máxima de 100 ampères, dado duas fontes trifásicas. Portanto, a chave de transferência automática possui quatro polos (tetrapolar) para cada fonte de alimentação e quatro polos de saída para a carga elétrica. Essa chave comuta as três fases (R, S e T) e o condutor neutro (N), por existir duas fontes de energia diferentes, logo, deve existir o seccionamento do condutor de neutro, na comutação dessa chave de transferência automática. Isso também satisfaz a ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), tal que “quando exigido o seccionamento do condutor neutro, as operações de abertura e fechamento dos circuitos correspondentes devem ser de modo a garantir que o condutor neutro não seja seccionado antes nem restabelecido após os condutores de fase”.

A chave de transferência automática seleciona a fonte de alimentação disponível, para quaisquer dos quadros de distribuição do QGBT. Sendo assim, é possível garantir segurança do provimento de alimentação às cargas elétricas do QDAUX.

4.2.1.1 Dimensionamento do Circuito de Proteção da Iluminação

O circuito de iluminação do *data center* consiste em um conjunto de luminárias embutidas no forro desse, cuja alimentação é monofásica de 127 volts. Prevendo uma carga elétrica máxima de 1,5 Kilovolt-ampères e através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{1500}{127} = 11,8110 \text{ A} \quad (4.14)$$

A corrente nominal máxima desse circuito é de aproximadamente 11,81 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Conforme o fabricante, deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 11,8110 * 1,15 = 13,5827 \text{ A} \quad (4.15)$$

Portanto, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele monopolar com corrente nominal de 16 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo C, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 5 a 10 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-C16” será adequado para a proteção do circuito de iluminação.

4.2.1.1.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

Por se tratar de um circuito de iluminação e conforme a Tabela 2.1 da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), a seção mínima para esses condutores deve ser de $1,5 \text{ mm}^2$. Entretanto, através da “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” se trata do método de instalação “31A”, que define “Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical” e resulta no método de referência “B2”. Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D”, a seção para dois condutores carregados (já que não existe padrão para um circuito monofásico com um único condutor carregado) para uma corrente nominal de até 17 ampères, deve ser de no mínimo 1 milímetro quadrado (mm^2).

Todavia, como será utilizado um cabo multipolar e não existe um padrão de cabo bipolar de $2 \times 1 \text{ mm}^2$, deve ser utilizado o cabo multipolar $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$, da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”. Tal que a queda de tensão (Q_T) pode ser calculada, em volts [V], a partir dos dados fornecidos pelo fabricante dos condutores, como especificado na equação (SIL, 2019). E segundo o fabricante de cabos multipolares para o modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” de $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$, a queda de tensão é de $27,1 \text{ V/A} \cdot \text{km}$ (volt/ampères*quilômetro) (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão para um circuito de corrente nominal máxima de 16 ampères e uma distância de 20 metros (0,02 quilômetros), pode ser calculada:

$$Q_T = 27,1 * 16 * 0,02 = 8,6720 \text{ V} \quad (4.16)$$

Assim, como a queda de tensão está no limiar permitido por norma ($8,672 \text{ V} < 8,8 \text{ V}$), deve ser utilizado o cabo multipolar $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$, da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”.

4.2.1.1.2 Dimensionamento do Circuito de Proteção da Tomada de Serviço

A tomada de serviço é disposta na sala do *data center* e terá tensão de saída bifásica 220 volts, sendo previsto a utilização para uma carga elétrica máxima de 3,7 Kilovolt-ampères, portanto, através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{3700}{220} = 16,8181 \text{ A} \quad (4.17)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 16,82 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{\text{disjuntor}} = 16,8181 * 1,15 = 19,3409 \text{ A} \quad (4.18)$$

Assim, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele bipolar com corrente nominal de 20 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma

vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-B20-2” será adequado para a proteção do circuito da tomada de serviço.

4.2.1.2.1 Dimensionamento da Seção dos condutores

Como a tomada de serviço possui alimentação bifásica 220 volts e necessita de um condutor de aterramento, devem ser utilizados cabos multipolares de três vias (cabos tripolares). Assim sendo, esses cabos multipolares saem do QDAUX e se direcionam até o local de instalação por meio de canaletas. Todavia, segundo a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” (ASSOCIAÇÃO... , 2004) se trata do método de instalação “72A”, que define “Cabo multipolar em canaleta provida de separações sobre parede” e resulta no método de referência “B2”, por se tratar da utilização de cabos multipolares da empresa Prysmian de modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” (PRYSMIAN, 2018).

Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos multipolares de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D”, considerando dois condutores carregados e uma corrente nominal máxima de 22 ampères, devem ser utilizados cabos multipolares com vias de seção igual a 1,5 mm².

A distância da saída dos cabos do QDAUX até a tomada de serviço pode chegar a 25 metros, logo, é necessário calcular a queda de tensão nesse condutor. Segundo a ABNT NBR 5410, “Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%”, portanto, 4% de 220 volts representa uma queda de tensão máxima de 8,8 volts.

A queda de tensão (Q_T) pode ser calculada, em volts [V], a partir dos dados fornecidos pelo fabricante dos condutores, como especificado na equação (4.5) (SIL, 2019). E segundo o fabricante de cabos multipolares para o modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” de 3x1,5mm², a queda de tensão é de 27,1 V/A*km (volt/ampères*quilômetro) (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão para um circuito de corrente nominal máxima de 20 ampères e uma distância de 25 metros (0,025 quilômetros), pode ser calculada:

$$Q_T = 27,1 * 20,0 * 0,025 = 13,55 \text{ V} \quad (4.19)$$

Para esse condutor, a queda de tensão superou a permitida por norma (13,55 V > 8,8 V), sendo necessário calcular a queda de tensão para um cabo multipolar 3x2,5 mm² e para esse, a queda de tensão é de 16,3 V/A*km (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão pode ser calculada:

$$Q_T = 16,3 * 20,0 * 0,025 = 8,15 \text{ V} \quad (4.20)$$

Assim, como a queda de tensão está no limiar permitido por norma (8,15 V < 8,8 V), deve ser utilizado o cabo multipolar 3x2,5mm², da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”.

4.2.1.3 Circuito dos Forçadores de Ar

Os forçadores de ar são dispostos forro do *data center*, esses tem a função de realizar a circulação do fluxo de ar e facilitar o retorno desse para os ares-condicionados. A alimentação desses será bifásica 220 volts, sendo previsto uma carga elétrica máxima de 3,5 Kilovolt-ampères, portanto, através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{3500}{220} = 15,9091 \text{ A} \quad (4.21)$$

Portanto, a corrente nominal máxima do circuito de cada forçador, será de aproximadamente 15,91 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 15,9091 * 1,15 = 18,2954 \text{ A} \quad (4.22)$$

Portanto, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele bipolar com corrente nominal de 20 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-B20-2” será adequado para a proteção do circuito dos forçadores de ar.

4.2.1.3.1 Dimensionamento da Seção dos Condutores

Como os forçadores possuem alimentação bifásica 220 volts e necessitam de um condutor de aterramento, devem ser utilizados cabos multipolares de três vias (cabos tripolares). Em síntese, esses cabos multipolares saem do QDAUX e se direcionam até a parte superior do forro por meio de leitos. Assim, segundo a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” (ASSOCIAÇÃO..., 2004) se trata do método de instalação “16”, que define “Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito” e resulta no método de referência “E”, por se tratar da utilização de cabos multipolares da empresa Prysmian de modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” (PRYSMIAN, 2018).

Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos multipolares de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 39 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G”, considerando dois condutores carregados e uma corrente nominal máxima de 26 ampères, devem ser utilizados cabos multipolares com vias de seção igual a 1,5 mm².

Considerando que a distância da saída dos cabos do QDAUX até os forçadores pode chegar a 25 metros, é necessário calcular a queda de tensão nesse condutor. Segundo a ABNT NBR 5410, “Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%”, portanto, 4% de 220 volts representa uma queda de tensão máxima de 8,8 volts.

A queda de tensão (Q_T) pode ser calculada, em volts [V], a partir dos dados fornecidos pelo fabricante dos condutores, como especificado na equação (4.5) (SIL, 2019). E segundo o fabricante de cabos multipolares para o modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” de 3x1,5mm², a queda de tensão é de 27,1

V/A*km (volt/ampères*quilômetro) (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão para um circuito de corrente nominal máxima de 20 ampères e uma distância de 25 metros (0,025 quilômetros), pode ser calculada:

$$Q_T = 27,1 * 20,0 * 0,025 = 13,55 \text{ V} \quad (4.23)$$

Para esse condutor, a queda de tensão superou a permitida por norma (13,55 V > 8,8 V), sendo necessário calcular a queda de tensão para um um cabo multipolar 3x2,5 mm² e para esse, a queda de tensão é de 16,3 V/A*km (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão pode ser calculada:

$$Q_T = 16,3 * 20,0 * 0,025 = 8,15 \text{ V} \quad (4.24)$$

Assim, como a queda de tensão está no limiar permitido por norma (8,15 V < 8,8 V), deve ser utilizado o cabo multipolar 3x2,5mm², da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”.

4.2.1.4 Dimensionamento do Circuito de Proteção dos Ares-condicionados

Os ares-condicionados de 56000 BTUs, são dispostos na sala do *data center* e possuem alimentação bifásica 220 volts, sendo previsto a utilização para uma carga elétrica máxima de 6 Kilovolt-ampères para cada, portanto, através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{6000}{220} = 27,2727 \text{ A} \quad (4.25)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 27,27 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 27,2727 * 1,15 = 31,3636 \text{ A} \quad (4.26)$$

Portanto, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele bipolar com corrente nominal de 32 ampères. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo C, uma vez que os compressores dos ares-condicionados demandam cargas elétricas indutivas e esses disjuntores interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 5 a 10 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-B32-2” será adequado para a proteção do circuito de comandos.

4.2.1.4.1 Circuito de Acionamento dos Ares-condicionados

Para o acionamento elétrico será utilizado um contator para cada um dos quatro ares-condicionados, esse dispositivo deve conseguir acionar uma carga elétrica com corrente elétrica compatível a do disjuntor de proteção, pois ao disjuntor de proteção também já está acrescido o fator de segurança. Portanto, comercialmente (WEG, 2023b) o contator adequado seria aquele tripolar de corrente nominal

máxima de 32 A. Logo, o modelo “CWB32-11-30D23” será adequado para o acionamento do circuito dos ares-condicionados, tal que a bobina de acionamento desse é bifásica 220 volts.

4.2.1.4.2 Dimensionamento da Seção dos Condutores

Como os ares-condicionador possuem alimentação bifásica 220 volts e necessitam de um condutor de aterramento, devem ser utilizados cabos multipolares de três vias (cabos tripolares). Assim, esses cabos multipolares saem do QDAUX e se direcionam até o local de instalação por meio de leitos. Portanto, segundo a “Tabela 33 — Tipos de linhas elétricas” (ASSOCIAÇÃO... , 2004) se trata do método de instalação “16”, que define “Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito” e resulta no método de referência “E”, por se tratar da utilização de cabos multipolares da empresa Prysmian de modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” (PRYSMIAN, 2018).

Através desse método de referência, considerando a utilização de cabos multipolares de cobre com isolamento EPR e em consulta à “Tabela 39 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G”, os condutores dos ares-condicionados para dois condutores carregados e uma corrente nominal máxima de 49 ampères, devem ser de cabos multipolares com vias de seção igual a 4 mm².

Considerando que a distância da saída dos cabos do QDAUX até os ares-condicionados pode chegar a 30 metros, é necessário calcular a queda de tensão nesse condutor. Segundo a ABNT NBR 5410, “Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%”, portanto, 4% de 220 volts representa uma queda de tensão máxima de 8,8 volts.

A queda de tensão (Q_T) pode ser calculada, em volts [V], a partir dos dados fornecidos pelo fabricante dos condutores, como especificado na equação (4.5) (SIL, 2019). E segundo o fabricante de cabos multipolares para o modelo “Afumex Flex 0,6/1kV” de 3x4mm², a queda de tensão é de 10,1 V/A*km (volt/ampères*quilômetro) (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão para um circuito de corrente nominal máxima de 32 ampères e uma distância de 30 metros (0,03 quilômetros), pode ser calculada:

$$Q_T = 10,1 * 32,0 * 0,03 = 9,6960 \text{ V} \quad (4.27)$$

Para esse condutor, a queda de tensão superou a permitida por norma (9,696 V > 8,8 V), sendo necessário calcular a queda de tensão para um cabo multipolar 3x6 mm², para esse, a queda de tensão é de 6,7 V/A*km (PRYSMIAN, 2018), considerando um fator de potência igual a 0,92. Portanto, a queda de tensão pode ser calculada:

$$Q_T = 6,7 * 32,0 * 0,03 = 6,432 \text{ V} \quad (4.28)$$

Assim, como a queda de tensão está no limiar permitido por norma (6,432 V < 8,8 V), deve ser utilizado o cabo multipolar 3x6mm², da empresa Prysmian e modelo “Afumex Flex 0,6/1kV”.

4.2.2 Circuito da Chave de Transferência Automática 2

A chave de transferência automática 2 é responsável por realizar a comutação automática entre a alimentação estabilizada proveniente da UPS A ou da UPS B e a carga elétrica do circuito de comandos do *data center*. Essa possui alimentação bifásica 220 volts e a entrada dessa é protegida através dos disjuntores dispostos no QDA e no QDB.

Esse circuito de comandos é dividido em outros dois circuitos, tal que o primeiro alimenta a sinalização de emergência, a fonte de 12 volts, a fonte de 24 volts, e o acionamento dos contadores dos ares-condicionados. Já o segundo alimenta apenas o sistema de detecção, alarme e combate a incêndio, abreviado no projeto como "SDACI".

Para primeiro circuito é previsto uma carga elétrica máxima de 1,5 Kilovolt-ampères de potência aparente, com alimentação bifásica 220 volts. Logo, é possível encontrar a corrente elétrica máxima, através da equação (2.7), assim:

$$I = \frac{1500}{220} = 6,8182 \text{ A} \quad (4.29)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 6,82 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 6,8182 * 1,15 = 7,8409 \text{ A} \quad (4.30)$$

Portanto, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele bipolar com corrente nominal de 10 A. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. O modelo "MDWP-B10-2" será adequado para a proteção do circuito de comandos.

Para segundo circuito é previsto uma carga elétrica máxima de 1 Kilovolt-ampères de potência aparente, com alimentação bifásica 220 volts. É possível encontrar a corrente elétrica máxima, através da equação (2.7):

$$I = \frac{1000}{220} = 4,5454 \text{ A} \quad (4.31)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 4,54 ampères e a proteção do circuito será feita por um disjuntor WEG (WEG, 2023c). Segundo o fabricante deve ser aplicado um fator de segurança ao dimensionar o disjuntor (WEG, 2023a), embora o fabricante recomende um fator de 25%, para esse projeto será adotado um fator de 15% acrescido à corrente nominal do circuito, assim:

$$I_{disjuntor} = 4,5454 * 1,15 = 5,2273 \text{ A} \quad (4.32)$$

Portanto, comercialmente (WEG, 2023c) o disjuntor adequado seria aquele bipolar com corrente

nominal de 6 A. Considera-se, ainda, o uso de disjuntores com curva de disparo tipo B, uma vez que esses interpretam como corrente de curto-circuito um valor entre 3 a 5 vezes a corrente nominal máxima. Logo, o modelo “MDWP-B6-2” será adequado para a proteção do circuito de comandos.

4.2.2.1 Circuito de Comandos da Fonte de 12 Volts

O circuito de comandos da fonte de 12 volts de corrente contínua (12 VCC) alimenta todo o circuito do sistema de controle de acesso do *data center*, portanto além de alimentar os controladores de acesso, também alimenta as travas magnéticas da porta principal do *data center*. Portanto, esse circuito é de grande importância para a segurança física do *data center*, tal que para quaisquer eventos de falhas na alimentação da concessionária ou grupo motor gerador, é impossibilitado o acesso não autorizado.

Para o projeto serão utilizados cinco controladores de acesso da empresa Intelbras e modelo "SS 3420 BIO"(INTELBRAS, 2022), cuja corrente nominal é de 0,4 ampères ou 400 miliampères. Já para o fechamento da porta de entrada do *data center*, serão utilizadas quatro travas magnética serão da empresa Ipec e modelo "M100"(IPEC, 2024), tal que a corrente nominal dessa é de 0,46 ampères ou 460 miliampères. Logo, a corrente nominal do circuito de 12 VCC pode ser calculada pela soma das correntes nominais de todos os dispositivos conectados a fonte de 12 VCC:

$$I = 4 * 0,46 + 5 * 0,4 = 3,840 \text{ A} \quad (4.33)$$

Portanto, a fonte de 12 VCC deve ter uma corrente nominal de saída mínima de 4 ampères. A fonte utilizada será da empresa Mean Well e modelo "EDR-120-12"(WELL, 2024), cuja corrente nominal de saída é de no máximo 10 ampères. Segundo a Norma Regulamentadora Número 10 (BRASIL... , 2008), tensões até 50 volts em corrente alternada (50 VCA) ou 120 volts em corrente contínua (120 VCC) são classificadas como extra baixa tensão (EBT). Portanto, seguindo as determinações da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), tal como na Tabela 2.1, a seção dos condutores de saída desta fonte deve ser de no mínimo 0,75 mm². Entretanto, será adotado a seção de 1,0 mm² para os condutores de alimentação desta. A alimentação dessa fonte é bifásica 220 VCA, cuja carga elétrica máxima é de 300 volt-ampères e através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{300}{220} = 1,3636 \text{ A} \quad (4.34)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 1,4 ampères e seguindo as determinações da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), será adotada a seção de 1,5 mm² para os condutores de alimentação desta.

4.2.2.2 Circuito de Comandos da Fonte de 24 Volts

O circuito de comandos da fonte de 24 volts de corrente contínua (24 VCC) alimenta o controlador lógico programável (CLP) do QDAUX, tal que para quaisquer eventos de falhas na alimentação da concessionária ou grupo motor gerador, o CLP permanece em pleno funcionamento. Como já citado, o CLP centraliza diversas informações do *data center* e das UPSs, portanto, a sua criticidade se deve ao armazenamento dos eventos retornados às entradas digitais e analógicas. A comunicação das UPSs com

o CLP ocorre através do protocolo *Modbus RTU (Remote Terminal Unit)* (NASCIMENTO; LUCENA, 2003), muito utilizado graças à sua confiabilidade, simplicidade e facilidade de implementação. Tal que o meio físico é um par de cabos que utiliza o padrão RS-485, que especifica detalhes, como os níveis de tensão de operação e número de dispositivos conectados.

Para o projeto será utilizado um controlador lógico programável da empresa Dakol e modelo "V700-S-T20BJ"(DAKOL, 2017), cuja corrente nominal é de 320 miliampères para uma alimentação de 24 VCC. A fonte utilizada será da empresa Dakol e modelo "MQR120-24F"(DAKOL, 2016) de 24 VCC e uma corrente nominal máxima de saída de 5 ampères. Sua alimentação é bifásica 220 VCA, cuja carga elétrica máxima é de 300 volt-ampère, e através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{300}{220} = 1,3636 \text{ A} \quad (4.35)$$

Portanto, a corrente nominal máxima desse circuito será de aproximadamente 1,4 ampères e seguindo as determinações da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), será adotada a seção de 1,5 mm² para os condutores de alimentação desta.

4.2.2.3 Entradas do Controlador Lógico Programável

O monitoramento de temperaturas e da umidade em um *data center* é essencial para o controle do sistema de refrigeração, de alguns *facilities* e armazenamento de informações para o controle de eficiência energética desse. O CLP, por sua vez, centraliza essas informações para realizar o controle dos ares-condicionados, para isso, são utilizadas três entradas analógicas. A primeira entrada analógica monitora a temperatura do corredor quente do *data center* através de um sensor de temperatura da empresa Omega Engineering e modelo "PT100"(ENGINEERING, 2024), que varia a resistência conforme a diminuição ou o aumento da temperatura, retornando esses valores a um conversor da empresa Weidmuller Conexel e modelo "WTZ4 PT100/2 V 0-10V"(CONEXEL, 2023). Esse conversor é utilizado para converter a variação da resistência em valores de corrente a partir do sinal de tensão 24 VCC, que alimenta esse conversor. Isso é necessário, pois o CLP interpreta em suas entradas analógicas, apenas valores de tensão (0 VCC à +10 VCC, -10 VCC à 0 VCC ou -10 VCC à +10 VCC) ou corrente (0 à 20 miliampères ou 4 à 20 miliampères) (FRANCHI; CAMARGO, 2008) (OLIVEIRA, 2020).

A segunda e terceira entrada analógica monitoram a temperatura e a umidade do corredor frio, através um sensor da empresa Comtemp e modelo "S501"(CONTEMP, 2023). Isso ocorre através do mesmo princípio de variação de resistência, entretanto, esse equipamento já possui um conversor de corrente interno, que retorna ao CLP um sinal de corrente de 4 até 20 miliampères.

Através das entradas discretas (digitais), o CLP monitora o *status* dos ares-condicionados por meio de sensores de corrente e pelos contatos normalmente abertos (NA) dos contatores de cada um deles. Como cada ar-condicionado é bifásico 220 VCA, uma das fases de alimentação da saída do disjuntor passa num sensor de corrente, que interpreta o campo magnético gerado pelo condutor da fase, fecha o contato NA e a informação de que o ar-condicionado foi alimentado é retornada ao CLP. Também é retornado ao CLP se o contator foi acionado, através do contato NA desse. Portanto, são retornadas duas informações redundantes do acionamento dos ares-condicionados ao CLP, garantindo

a segurança do sistema em caso de falhas. Outro aspecto relevante é que existe o revezamento entre os dois ares-condicionados, tal que através do CLP é possível ajustar os parâmetros do tempo de funcionamento de cada um deles.

O CLP também monitora o sensor da porta de entrada do *data center*, através de uma entrada digital, tal sensor é NA da empresa Metaltex e modelo "FM-7310"(METALTEX, 2023), esse é acionado fisicamente quando a porta encosta no batente.

Existe também, o retorno de informação do sistema de detecção, alarme e combate a incêndio (SDACI), sendo assim, o CLP monitora o retorno de três informações: Falha, Pré-alarme e Alarme. Essas informações são obtidas a partir de contatos normalmente fechados (NF), dispostos nos relés de saída do SDACI, tal que o CLP interpreta a abertura de quaisquer contatos e aciona a sinalização de emergência do *data center*.

4.2.2.4 Saídas do Controlador Lógico Programável

As saídas digitais do CLP realizam o acionamento de relés de 24 VCC, ou seja, o circuito de comandos dos dispositivos do quadro de distribuição é realizada através dos contatos reversíveis do relé, isolando esse do circuito de controle e automação. A utilização dos relés preserva a integridade das saídas do CLP, já que na maioria dos modelos, as saídas são transistorizadas, apresentando maior sensibilidade a correntes altas (WEG, 2021).

Para a implementação do sistema, serão utilizadas seis saídas digitais do CLP, logo, seis relés serão utilizados. Desses, quatro serão destinados aos contadores dos ares-condicionados instalados no *data center*. Um relé será utilizado para o acionamento da sinalização de emergência, o último relé permanecerá conectado ininterruptamente à saída da fonte de alimentação do CLP, cuja função é acionar a sinalização de emergência em caso de falha ou queima da fonte de 24 VCC.

Adicionalmente, é importante destacar que a escolha dos relés deve considerar a capacidade de corrente e a tensão de operação compatíveis com os dispositivos controlados, garantindo assim a segurança e a confiabilidade do sistema. Portanto, será utilizado o relé de interface da empresa Finder com dois contatos reversíveis, que suporta uma corrente nominal máxima de 8 ampères e possui dois contatos reversíveis.

4.2.2.5 Circuito de Comandos do Acionamento dos Ares-condicionados

O circuito de acionamento dos ares-condicionados oferece duas alternativas para o acionamento, sendo estes o modo manual e o modo automático. A seleção desses modos de operação ocorre por meio de uma comutadora para cada ar-condicionado, disposta na porta do quadro de distribuição auxiliar (QDAUX).

Com a comutadora em modo automático, os ares-condicionados são acionados através do controlador lógico programável (CLP), que irá monitorar e ajustar a operação dos ares-condicionados, conforme os parâmetros programados. Sendo assim, a temperatura desejada pode ser parametrizada conforme a necessidade, e então, o sistema ajustará a operação do sistema de refrigeração de forma automática. Vale ressaltar que em modo automático, existe o revezamento dos ares-condicionados

conforme demanda, e nos casos em que a temperatura parametrizada é excedida, o CLP irá acionar, simultaneamente, todos os ares-condicionados disponíveis.

Com a comutadora em modo manual, é feito o acionamento do contator do respectivo ar condicionado ininterruptamente, tal que o CLP não terá mais controle sobre o acionamento deste. Entretanto, o CLP continua monitorando a temperatura do *data center* e a sinalização de emergência será acionada nos casos em que a temperatura estabelecida como parâmetro é excedida. Logo, o modo manual permite ao usuário ligar ou desligar os aparelhos conforme sua preferência, ou necessidade, independentemente do controle do CLP.

Vale ressaltar que o modo manual é destinado a casos de manutenção no sistema de refrigeração, tal que, o sistema elétrico de uma das máquinas de ar-condicionado deve ser desenergizado através do disjuntor. Assim, o ar-condicionado redundante pode ser colocado em modo manual durante este processo, por consequência, não existirá *downtime*.

Quanto ao acionamento dos contadores, segundo a ficha técnica disponibilizada pelo fabricante, a carga elétrica da bobina desse é de 7,5 volt-ampères (WEG, 2023b), portanto através da equação (2.7), obtém-se:

$$I = \frac{7,5}{220} = 0,0341 \text{ A} = 34,1 \text{ mA} \quad (4.36)$$

Portanto, a corrente nominal para um contator será de aproximadamente 34 miliampères. Assim, a corrente nominal máxima do circuito para quatro contadores será de 136 miliampères, ou seja, quatro vezes a corrente nominal da bobina de um contator e seguindo as determinações da ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004), será adotada a seção de 1,0 mm² para os condutores de alimentação desta.

4.3 MÉTODOS DE VALIDAÇÃO DO FUNCIONAMENTO E MANUTENÇÃO DOS QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA

A validação do funcionamento de um quadro de distribuição deve ser feita antes da instalação e operação desse em um *data center*, visando garantir o funcionamento correto e a segurança das instalações elétricas. Para realizar a validação devem ser utilizados uma série de equipamentos de medições elétricas, como também testes com cargas elétricas simuladas, que devem ser semelhantes as utilizadas na operação dos quadros de distribuição. Portanto, é possível dividir os métodos de validação nos seguintes itens:

- Inspeção visual;
- Inspeção de tensão e corrente utilizando cargas elétricas simuladas;
- Inspeção termográfica utilizando cargas elétricas simuladas;
- Inspeção de aperto das conexões;

4.3.1 Inspeção Visual

A inspeção visual é o método de validação mais simples de um quadro de distribuição elétrica e tem o objetivo de revisar a estrutura física desse. Assim, o responsável pela inspeção deve procurar anomalias e inconformidades dos dispositivos elétricos e das conexões desses (GRUPO... , 2021). O diagrama elétrico também deve ser utilizado para orientar a inspeção e cada ponto de conexão deve ser verificado conforme o diagrama, tal que em casos de conexões erradas, estas devem ser refeitas. A ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO... , 2004) também deve ser outro instrumento de orientação, já que define vários padrões elétricos.

4.3.2 Inspeção de Tensão e Corrente Utilizando Cargas Elétricas Simuladas

A inspeção de tensão e corrente do quadro de distribuição elétrica é realizada a partir da energização desse e interligando cargas elétricas simuladas às saídas, tais cargas elétricas devem ser semelhantes as utilizadas na operação do quadro de distribuição. Portanto, essa inspeção deve ser realizada antes da instalação e operação do quadro de distribuição, visando constatar que todos os dispositivos elétricos estão em plena condição de funcionamento, tal como o acionamento dos disjuntores, contadores e entre outros dispositivos.

Quanto a inspeção de tensão, é aferido a tensão de saída dos circuitos gerais ou específicos do quadro de distribuição, em relação à tensão de entrada desses. Portanto, deve-se constatar uma tensão similar, sem alterações relevantes ou alteradas apenas por poucos volts.

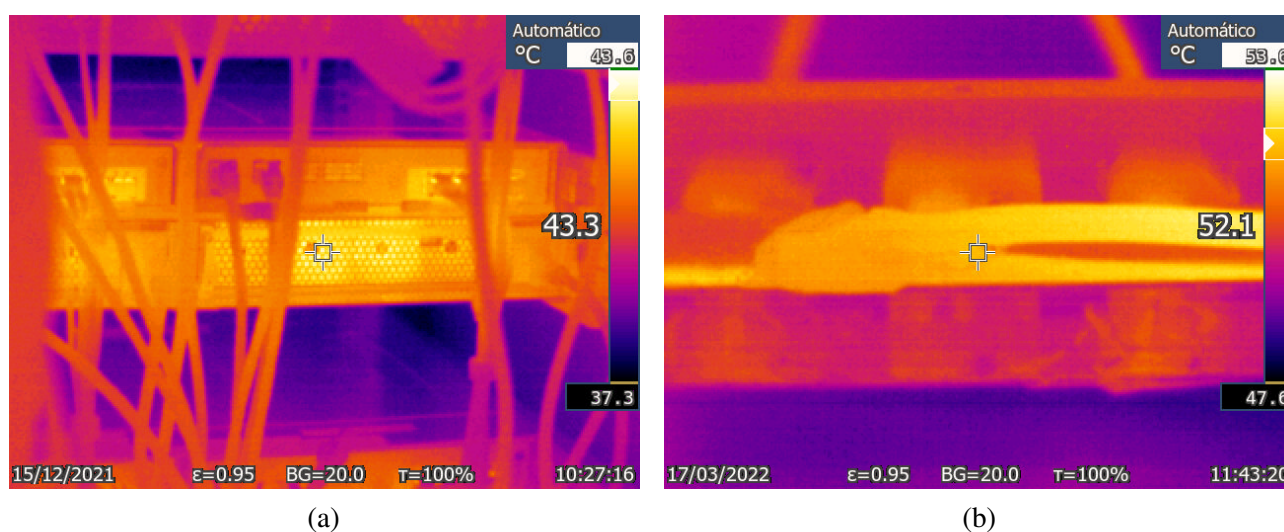
Quanto à inspeção de corrente com carga simulada, é possível aplicar cargas elétricas à saída de um circuito específico do quadro de distribuição, que sejam superiores às caracterizadas no projeto, visando inspecionar a atuação de seccionamento dos dispositivos de proteção contra sobrecargas.

Dentre os equipamentos essenciais para realizar tais inspeções, se encontram voltímetros e amperímetros, sendo equipamentos específicos. Entretanto, existem equipamentos que já incluem ambos, como os multímetros, que muitas vezes já integram o alicate amperímetro e voltímetro no mesmo dispositivo. Esse teste também pode ser realizado mediante multimedidores ou analisadores de energia, que trazem ainda mais detalhes, como informações das potências ativa, reativa e aparente de consumo da carga elétrica simulada, além de detectarem digitalmente os ciclos de frequência para fornecer períodos RMS confiáveis durante a conversão de energia (BRÜEL; KJÆR, 2020).

4.3.3 Inspeção Termográfica com Cargas Elétricas Simuladas

A inspeção termográfica em um quadro de distribuição elétrica, se trata de um dos testes importantes para a avaliação desses antes e depois de sua instalação para operação, a termografia é normatizada segundo a (ASSOCIAÇÃO... , 2014). A radiação infravermelha emitida é invisível ao olho humano, portanto é fundamental a utilização de um termovisor ou câmera termográfica. Uma câmera termográfica é composta por um sensor infravermelho e uma câmera convencional, ela capta a radiação infravermelha emitida pelos objetos e processa uma imagem que distingue as temperaturas desses (GOMES; FRANCO, 2021), como na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Inspeção Termográfica. (a) Servidor Instalado em um *Rack*. (b) Conexão do Cabo de Alimentação ao Barramento de uma PDU.



Fonte: Autoria Própria.

Segundo (MMTEC, 2020), a termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura.

O objetivo da inspeção termográfica é detectar anomalias térmicas no quadro de distribuição utilizando cargas elétricas não desprezíveis, e realizar a verificação de cada dispositivo e de suas conexões. Ou seja, através dessa inspeção é possível identificar regiões ou pontos com temperatura alterada em relação a um padrão pré-estabelecido pelos fabricantes dos componentes elétricos ou conexões.

É necessário existir um plano de manutenção preventiva e preditiva³ dos painéis elétricos, tal que deve incluso também a inspeção termográfica. Isso é importante, pois com o tempo, as partes condutoras dos componentes elétricos podem sofrer oxidação, ocasionando o aumento da resistência elétrica, que gera o sobreaquecimento demasiado nas conexões do quadro de distribuição. Logo, as consequências da falta de manutenção preventiva, podem ser desde danos aos isolantes dos condutores elétricos (cabos unipolares e multipolares), curto-circuitos e até incêndios (GOMES; FRANCO, 2021).

4.3.4 Inspeção do Aperto das Conexões

A inspeção do aperto das conexões consiste na verificação de torque de todos os dispositivos elétricos de um quadro de distribuição elétrica. Tal inspeção é normatizada pela ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) e deve ser realizada com o quadro de distribuição desenergizado, seguindo as orientações da (BRASIL..., 2008). Tal que o torque adequado para o aperto dos parafusos que fixam as conexões, devem seguir a orientação dos fabricantes desses dispositivos elétricos, logo, muitos fabricantes disponibilizam o torque na própria carcaça desses (ELÉTRICO, 2020). É importante ressaltar que tal inspeção de aperto também deve ser inserida junto ao plano de manutenções preditivas

³ Que prediz ou que é relativo a uma predição.

dos quadros de distribuição elétricos. Essa manutenção é relevante principalmente em ambientes industriais, em que podem existir vibrações que contribuam para o afrouxamento das conexões elétricas.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram apresentados os métodos e equipamentos para a distribuição de energia elétrica da tensão alternada, que exige um relevante número de conversões, em que existem perdas energéticas, como exemplo os transformadores, retificadores e inversores para o sistema de UPS. Entretanto, a utilização da distribuição de energia elétrica em tensão alternada é comum, por ser um padrão generalizado na distribuição primária das concessionárias.

Neste contexto, foi calculada a queda de tensão nos condutores que compõem os circuitos críticos do projeto de distribuição elétrica de um *data center* (conforme os Anexos A e B). Para minimizar tais perdas, é necessário que a seção transversal dos condutores seja aumentada. Isso ocorre, pois para conduzir uma mesma corrente por distâncias maiores, um condutor com maior seção transversal apresenta menor resistência elétrica. Consequentemente, com uma resistência reduzida, as perdas de tensão na distribuição elétrica em baixa tensão são minimizadas. A relação inversa entre a seção do condutor e sua resistência elétrica garante uma distribuição mais eficiente da energia, reduzindo as perdas associadas ao aquecimento no condutor e melhorando o desempenho geral do sistema elétrico.

No projeto apresentado foi evidenciado a distribuição de energia elétrica para os sistemas e *facilities* fundamentais de um *data center* com classificação *Tier 3*. Ao longo do desenvolvimento do projeto, identificou-se que os sistemas de distribuição de energia elétrica também são relacionados a eficiência energética de um *data center*. Portanto, se tratando da distribuição de energia elétrica em baixa tensão, quanto mais próximo à fonte de energia está da carga elétrica, maior será a eficiência.

Arelado ao projeto de distribuição elétrica, o controle e a automação do *data center* desempenham um papel crucial na garantia da operação eficiente, segura e contínua da infraestrutura de monitoramento. Uma das alternativas para controle das cargas elétricas do *data center* é a utilização de PDUs gerenciáveis, que permitem a análise de energia elétrica para cada um dos *racks*. Nesse contexto, a utilização de PDUs gerenciáveis proporciona a gestão remota das cargas elétricas, sem a necessidade de intervenção física direta.

Como especificado no projeto, a observância e aplicação das normas técnicas nas instalações elétricas, além de promover a correta proteção dos dispositivos e assegurar a operação ininterrupta do *data center*, garante a integridade física do *site*. Isso se refere principalmente ao fato de que circuitos elétricos com condutores mal dimensionados (sobrecarregados), isolamentos precários e conexões soltas, podem contribuir para incêndios nas instalações do *data center*.

Também foi mostrado que os sistemas de refrigeração são relevantes na discussão de eficiência energética, tal que nos sistemas mais antigos, existem grandes perdas na transformação de energia elétrica em energia térmica para a refrigeração dos equipamentos de TI. Portanto, para garantir o melhor aproveitamento das fontes energéticas, é necessário que os sistemas de refrigeração do *data center* estejam atualizados para tecnologias eficientes. Por fim, a eficiência energética está diretamente ligada ao custo operacional do *data center*. Uma gestão eficiente do consumo de energia também minimiza o impacto ambiental, contribuindo para a sustentabilidade da operação.

REFERÊNCIAS

- AAMIR, M.; KALWAR, K. A.; MEKHILEF, S. Review: Uninterruptible power supply (ups) system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 1, 2016.
- ABB. **Soluções modulares para proteção elétrica**. 2014. Documento PDF. Disponível em: <<https://library.e.abb.com/public/e251efb61ecab6a483257cac0061eb51/Catalogo%20Mini%20disjuntores%202013-14-low.pdf>>.
- AISIKAI. **SKT1 Series Class ATS User Manual V2.6**. 2020. Documento PDF. Disponível em: <<https://jrrorwxhmlqplr5m-static.micyjz.com/%E7%94%A8%E6%88%B7%E6%89%8B%E5%86%8C-aidlkBmpKmplmSRnjmqnqipir.pdf>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14136: Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20 A/250 V em corrente alternada - Padronização. v. 1, n. 20, p. 2–15, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16292: Ensaio não destrutivo - Termografia - Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas. v. 2, p. 10–50, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. v. 2, n. 217, p. 22–40, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5471: Condutores elétricos. v. 1, n. 10, p. 2–8, 1986.
- AZEEM, M. Q. et al. Design and analysis of switching in automatic transfer switch for load transfer. **International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST)**, n. 6, p. 1–3, 2016.
- BRADY, G. A. et al. A case study and critical assessment in calculating power usage effectiveness for a data centre. **Energy Conversion and Management**, p. 161, 2013.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NORMA REGULAMENTADORA Nº 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE. p. 150–165, 2008.
- BRITO, J. L. R. de; MATAI, P. H. Iara dos S.; SANTOS, M. R. dos. Data center e eficiência energética. **Brazilian Journal of Business**, n. 10, p. 2–10, 2023.
- BRUM. **BARRAMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO**. 2019. Documento PDF. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/43206/1538512456catalogo_barramentos.pdf>.
- BRÜEL, H.; KJÆR. **Definição de um analisador de energia?** 2020. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/8099/analizador-de-energia-principio-de-operacao/#:~:text=Os%20analisadores%20de%20energia%20podem%20detectar%20digitalmente%20os%20ciclos%20de,e%20a%20corrente%20do%20sistema>>.
- CHOI, Y. J.; PARK, J. Y. H. B. R.; MOON, J. W. Development of an adaptive artificial neural network model and optimal control algorithm for a data center cyber-physical system. **Building and Environment**, p. 1–17, 2022.
- COMMISSION, I. E. Iec 60898-1 - circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations. v. 2, 2015.

COMMISSION, I. E. Iec 60947-2 - low-voltage switchgear and controlgear. v. 5, 2016.

CONEXEL, W. **WTZ4 PT100/2 V 0-10V**. 2023. Disponível em: <<https://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=en&ObjectID=8432190000>>.

CONTEMP. **TRANSMISSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE - S501**. 2023. Disponível em: <https://www.contemp.com.br/produto/TRANSMISSOR_DE_TEMPERATURA_E_UMIDADE_-_S501>.

CPFL, C. P. de Força e L. Ligação de autoprodutores em paralelo com o sistema de distribuição da cpfl. v. 1.11, n. 33, p. 1–47, 2021.

DAKOL. **Fonte de Alimentação 24VDC - Linha MQR (3.2A a 10A)**. 2016. Disponível em: <<https://www.dakol.com.br/produtos/fonte-de-alimentacao-24vdc/linha-mqr/>>.

DAKOL. **CLP com IHM Incorporada - Vision700**. 2017. Disponível em: <https://www.dakol.com.br/produtos/clp-com-ihm-incorporada/vision/vision700?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIpZ-OtMP3hgMV5DatBh34-wqMEAAYASAAEgLA1vD_BwE>.

DYNAMICS, D. C. **A busca pelo Triângulo da Sustentabilidade: PUE, CUE e WUE**. 2023. Disponível em: <<https://www.datacenterdynamics.com/br/opini%C3%B5es/a-busca-pelo-triangulo-da-sustentabilidade-pue-cue-e-wue/>>.

EATON. **PDU de rack gerenciada da Eaton**. 2022. Disponível em: <<https://www.eaton.com/br/pt-br/catalog/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/eaton-managed-rack-pdu.html#tab-3>>.

ELÉTRICO, O. S. **O aberto e o reaperto!** 2020. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/o-aberto-e-o-reaperto/>>.

ENERGÉTICA, E. de P. **Matriz Energética e Elétrica**. 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.

ENGINEERING, O. **Sensores Pt-100**. 2024. Disponível em: <<https://br.omega.com/prodinfo/pt100.html>>.

FACCIONI FILHO, M. Conceitos e infraestrutura de data centers. **Universidade do Sul de Santa Catarina**, v. 1, n. 120, p. 30–70, 2016.

FERRAZ, G. Principais meios de armazenamento de dados utilizados em datacenters modernos. **Universidade do Sul de Santa Catarina**, 2013.

FINDER. **GUIA PARA O INSTALADOR — FINDER**. 2021. Documento PDF. Disponível em: <https://www.fegime.pt/images/uploaded/Catalogos/FINDER_GUIA_DO_INSTALADOR_2022.pdf>.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. de. **Controladores Lógicos Programáveis**. São Paulo, São Paulo - Brasil: Editora Érica Ltda, 2008.

GARCIA, D. Centro de dados (datacenters). **Revista Eletrônica Intraciência**, 2013.

GOMES, R. I.; FRANCO, S. B. **ANÁLISE TERMOGRÁFICA ALIADA A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE**. Juiz de fora, Minas Gerais - Brasil: [s.n.], 2021. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

GROUP, A. **O que é o sistema bypass de um nobreak?** 2021. Disponível em: <<https://www.apsgroup.com.br/artigos/212-o-que-e-o-sistema-de-bypass-de-um-nobreak>>.

GRUPO SAFETY. IT 41 - Inspeção visual em instalações elétricas de baixa tensão. 2021. Disponível em: <<https://safety-smt.com.br/seguranca-trabalho/ppra/pcmso/inspecao-visual-instalacoes-eletricas.html>>.

HSIN, A. L. K. C.; IMAI, F. **Estudo de Caso Coparativo entre os Métodos de Dimensionamento de Condutores Elétricos Propostas pelas Normas NBR 5410 e NBR 15920 em Circuitos das Instalações da UTFPR, Campus Curitiba**. Curitiba, Paraná - Brasil: [s.n.], 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

INTEL. **O que é: Bypass de Energia**. 2023. Disponível em: <<https://grupoinstel.com.br/glossario/o-que-e-bypass-de-energia/#:~:text=O%20bypass%20de%20energia%20%C3%A9%20composto%20por%20um%20conjunto%20de,transformadores%20e%20outros%20componentes%20el%C3%A9tricos.>>>

INTELBRAS. **Controlador de Acesso SS 3420 BIO**. 2022. Documento PDF. Disponível em: <https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2023-12/Datasheet%20SS%203420_V6_0.pdf>.

IPEC. **ELETROÍMÃ M100 INOX COM SENSOR EMBUTIDO**. 2024. Disponível em: <<https://ipec.ind.br/eletroima-m100-inox-com-sensor-embutido/>>.

IV, W. P. T. et al. Tier classifications define site infrastructure performance. **Uptime Institute**, p. 4–8, 2008.

KVA. **TIPOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA ENTRE REDE E GERADORES DE ENERGIA**. 2021. Disponível em: <<https://kva.com.br/blog/tiposdetransferenciadecarga/>>.

MAHBOD, M. H. B. et al. Energy saving evaluation of an energy efficient data center using a model-free reinforcement learning approach. **Applied Energy**, n. 14, p. 2–10, 2022.

MENDES, D. de M.; COSTA, M. C.; LIMA, M. M. de S. **Montagem de Quadro de Transferência Automático para Acionamento de Grupo Gerador**. Belém, Pará - Brasil: [s.n.], 2013.

METALTEX. **FM7 - Chaves fim de curso**. 2023. Disponível em: <<https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/chaves-fim-de-curso/fm7-chaves-fim-de-curso>>.

MMTEC. **TERMOGRAFIA - Análise termográfica**. 2020. Disponível em: <<https://www.mmtec.com.br/termografia/>>.

MULTIWAY. **MULTIWAY CATÁLOGOS**. 2018. Disponível em: <<https://multiwayinfra.com.br/catalogos-multiway/>>.

NASCIMENTO, J. M. A. do; LUCENA, P. B. de. Protocolo modbus. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, p. 1–3, 2003.

NOBRE, B. L. **Projeto e Simulação de um Quadro de Transferência Automática**. Campina Grande, Paraíba - Brasil: [s.n.], 2021. Projeto e Simulação de um Quadro de Transferência Automática.

OLIVEIRA, H. **Entenda os principais tipos de sinais industriais**. 2020. Disponível em: <<https://blog.murrelektronik.com.br/entenda-os-principais-tipos-de-sinais-existent-na-industria/>>.

PAMBUDI, N. A. et al. The immersion cooling technology: Current and future development in energy saving. **Alexandria Engineering Journal**, n. 19, p. 2–10, 2022.

PAULINO, J. O. S. et al. Proteção de equipamentos elétricos e eletrônicos contra surtos elétricos em instalações. **CLAMPER**, p. 2–50, 2016.

PORPINO, J. C. P. **ATERRAMENTO ELÉTRICO: Esquemas de Aterramento convencionais e para equipamentos eletrônicos**. 2002.

PRYSMIAN. **CABO AFUMEX FLEX 0,6/1kV**. 2018. Documento PDF. Disponível em: <https://br.prysmian.com/sites/default/files/atoms/files/LV_001_02_PT_Afumex_Flex_1kV.pdf>.

RACINE, M.; PARHAM, J.; RASHID, M. H. An overview of uninterruptible power supplies. **Department of Electrical and Computer Engineering**, 2014.

SANTOS, C. A. S. A. **PLANEJAMENTO CONCEITUAL DE UM DATA CENTER: DA INFRAESTRUTURA AO PROJETO ELÉTRICO**. São João da Boa Vista, São Paulo - Brasil: [s.n.], 2019. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

SANTOS, F. N. D. **ESTUDO DO FUNCIONAMENTO E PRESERVAÇÃO DE GRUPOS MOTOGERADORES**. Pirassununga, São Paulo - Brasil: [s.n.], 2019. GERADOR SÍNCRONO COM MOTOR DIESEL.

SCHMIDT, H. Potência em corrente alternada. **ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos**, 2023.

SEMENSATO, M. Análise das potências elétricas em sistemas trifásicos desequilibrados e compensação da potência não ativa. **Instituto Federal de Goiás**, 2010.

SIBRATEC. **Catálogo de Produtos 2020**. 2020. Documento PDF. Disponível em: <<https://admin.sibratec.ind.br/public/produtos/anexos/Cat%C3%A1logoDeProdutos2020.pdf>>.

SIL. **Queda de Tensão**. 2019. Disponível em: <[https://www.sil.com.br/pt/eletricista/tabelas.aspx#:~:text=Queda%20de%20Tens%C3%A3o%20\(V\)%20%3D,%20x%20comprimento%20\(Km\).>](https://www.sil.com.br/pt/eletricista/tabelas.aspx#:~:text=Queda%20de%20Tens%C3%A3o%20(V)%20%3D,%20x%20comprimento%20(Km).>)>

STEMAC. **O que são Grupos Geradores?** 2020. Disponível em: <<http://www.blogstemac.com.br/artigos-tecnicos/o-que-sao-grupos-geradores/>>.

SUNBIRD. **Top 30 Data Center Sustainability Metrics**. 2020. Disponível em: <<https://www.sunbirdcim.com/infographic/top-30-data-center-sustainability-metrics>>.

VERTIV. **O que é um rack PDU?** 2022. Disponível em: <<https://www.vertiv.com/pt-latam/about/news-and-insights/articles/educational-articles/what-is-a-rack-pdu/>>.

WEG. **CLPs - CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS**. 2021. Documento PDF. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h18/h29/WEG-controladores-logicos-programaveis-10413124-pt.pdf>>.

WEG. **Como dimensionar o disjuntor e quais são as suas características?** 2023. Disponível em: <<https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/como-dimensionar-o-disjuntor/>>.

WEG. **CWB - CONTATORES**. 2023. Documento PDF. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hb6/h0a/WEG-contatores-CWB-50042424-pt.pdf>>.

WEG. **Integrated Solutions for Electrical Installations**. 2023. Documento PDF. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h24/h69/WEG-MDW-MDWH-QDW-SPW-RDW-DWP-50023623-en.pdf>>.

WELL, M. **Fonte AC/DC EDR-120-12 120W**. 2024. Documento PDF. Disponível em: <<https://e5n2.c13.e2-5.dev/lridownload/meanwell/mw-specs/EDR-120-spec.pdf>>.

WÖHNER. **Plug-in Adaptador até 63A**. 2023. Disponível em: <<https://tinyurl.com/yf9ds5fe>>.

ANEXO A – DIAGRAMA ELÉTRICO — QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)

Distribuição de Energia e Eficiência Energética em Data Centers

Paulo Lopes Portela Parreira

Tel.



Empresa / Cliente
Descrição do projeto
Número do projeto
Comissão

QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)
Trabalho de Graduação - Universidade Estadual Paulista
EPLAN

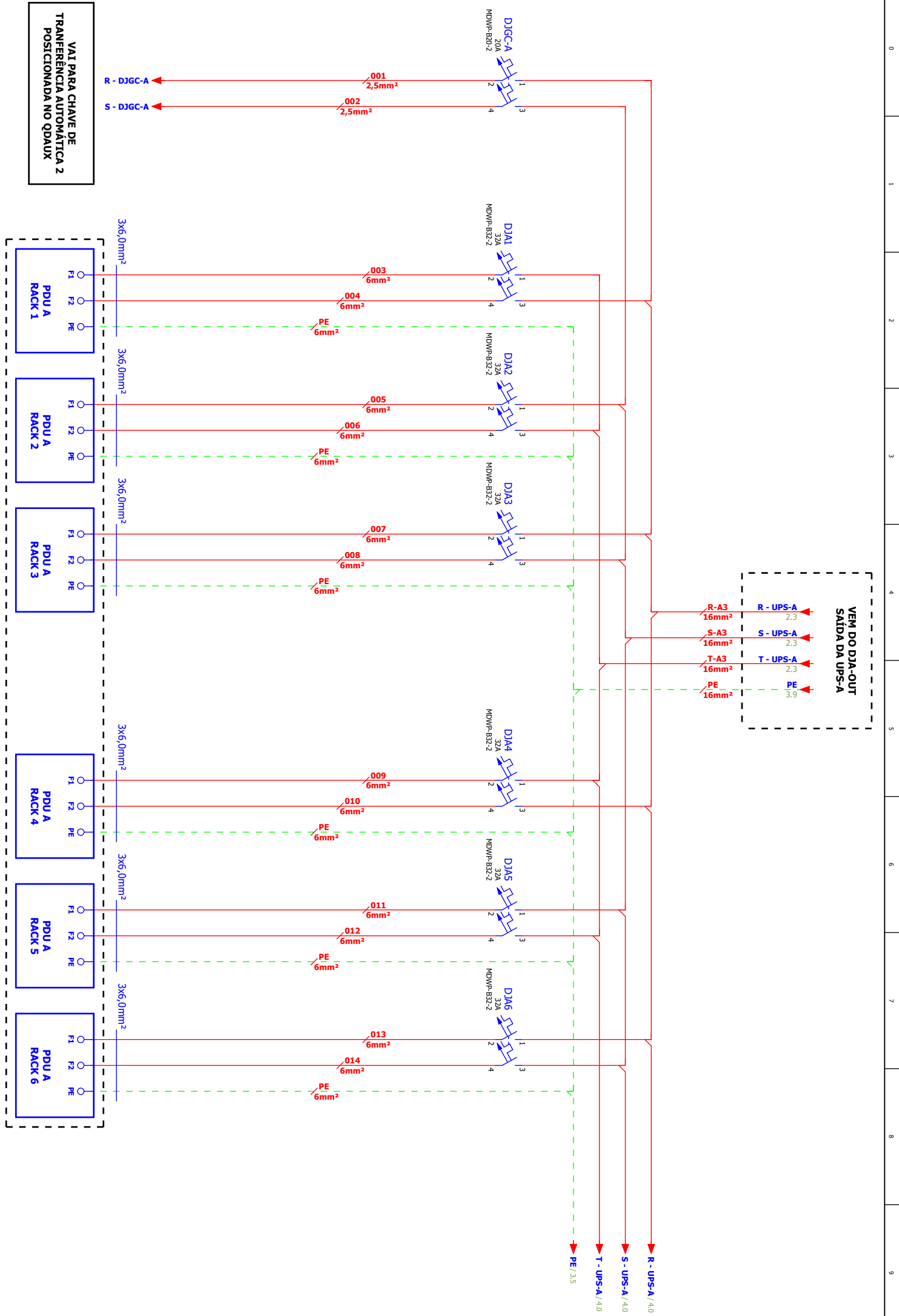
Fabricante (Empresa)

Distribuição de Energia e Eficiência Energética em Data Centers

Caminho
Nome do projeto
Fazer
Tipo
Local de instalação
Responsável pelo projeto
Recursos da peça

Exemplo de projeto EPLAN
DIAGRAMA ELÉTRICO - QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)

Criado em	27/06/2022	
Editado em	09/09/2024	de (abreviatura) PauloPortela
		Quantidade de páginas 8



SINAL DE ENTRADA B - TRIFÁSICO 220/127V
CONCESSIONÁRIA/GERADOR

R-B S-B T-B N-B PE

R - B 50mm²
S - B 50mm²
T - B 50mm²
N - B 25mm²
PE 25mm²

MU LIMEDIDOR
WEG-MMW03-M2ZCH

V1:R-O
V2:S-O
V3:T-O

Un
PE

DIGB
125A

DWP125-125-3

R-B
S-B
T-B
N-B

DPS - R 1,5mm²
DPS - S 1,5mm²
DPS - T 1,5mm²
DPS - N 1,5mm²
PE 1,5mm²

CHAVE DE TRANSFERÊNCIA MANUAL
SGF-Z-4P

TIE-B-1
160A

BODAU
63A

MDWP-B63-3

DIB-IN
63A

UPS-B INPUT
MDWP-B63-3

DPS-B
10A

MDWP-B10-3

INTERLIGADO A
CHAVE DE TRANSFERÊNCIA TIE-A

T / 2,9
S / 2,9
R / 2,9
N / 2,9

T 35mm²
S 35mm²
R 35mm²
N 16mm²

R-1.B 16mm²
S-1.B 16mm²
T-1.B 16mm²
N-1.B 16mm²
PE 16mm²

VAI PARA CHAVE DE
TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA 1
SIBRATEC GLOQZ-100/4P - 100A

UPS-A - VERTIV ITA 2
20KVA

A L1
B L2
C L3
N
PE

DIB-OUT
63A

UPS-B OUTPUT
MDWP-B63-3

R - UPS-B 6,4
S - UPS-B 6,4
T - UPS-B 6,5
N - UPS-B
PE 6,5

D
P
S

L
L
L

PE
PE
PE

DPS - R 6mm²
DPS - S 6mm²
DPS - T 6mm²
DPS - N 6mm²
PE 6mm²

Data
09/09/2024

Editor
Paulo Pereira

EP1AN
QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT)

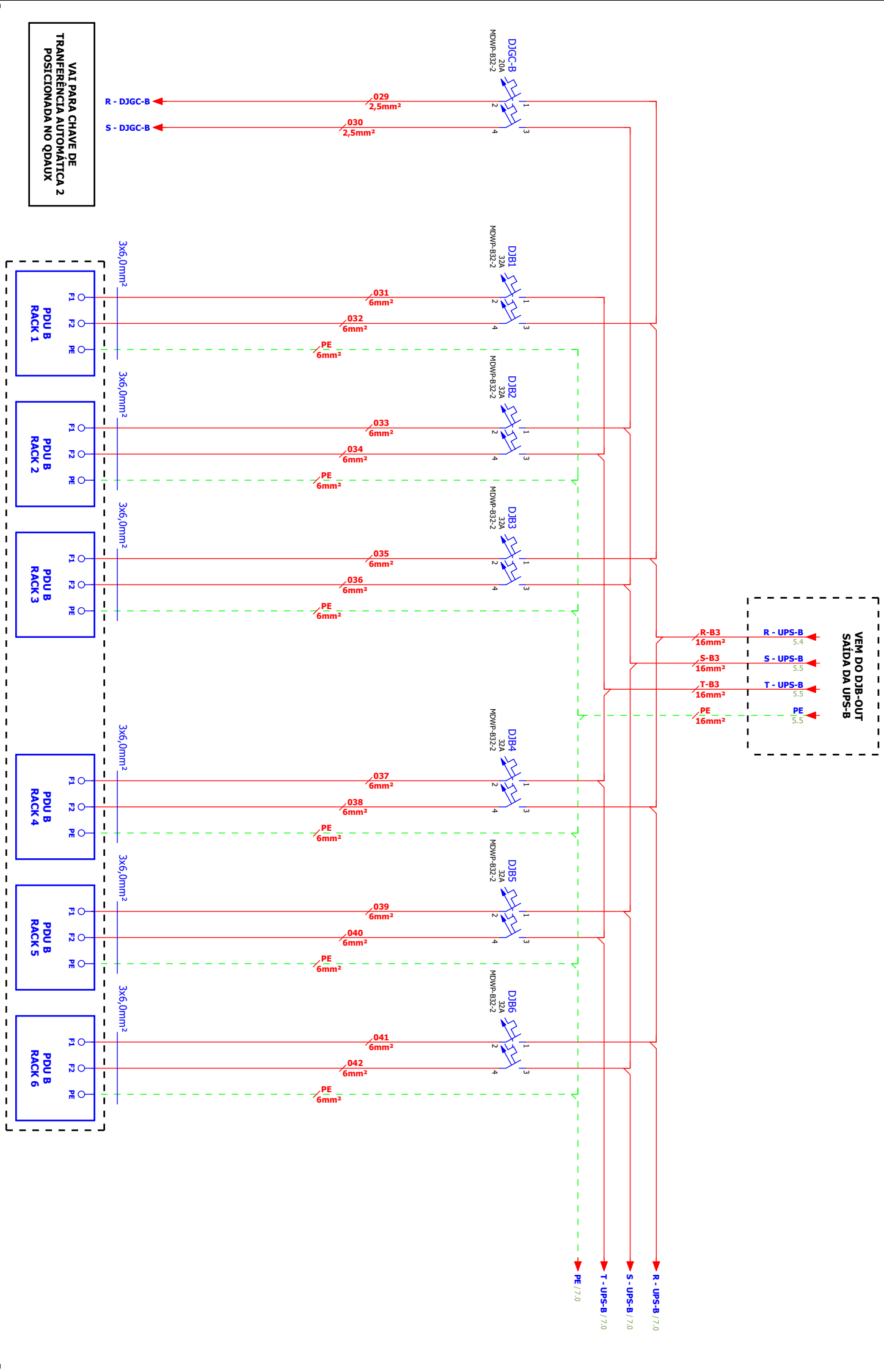
Distribuição de Energia e
Eficiência Energética em Data
Centers

QDB_1

Trabalho de Graduação - Universidade Estadual Paulista

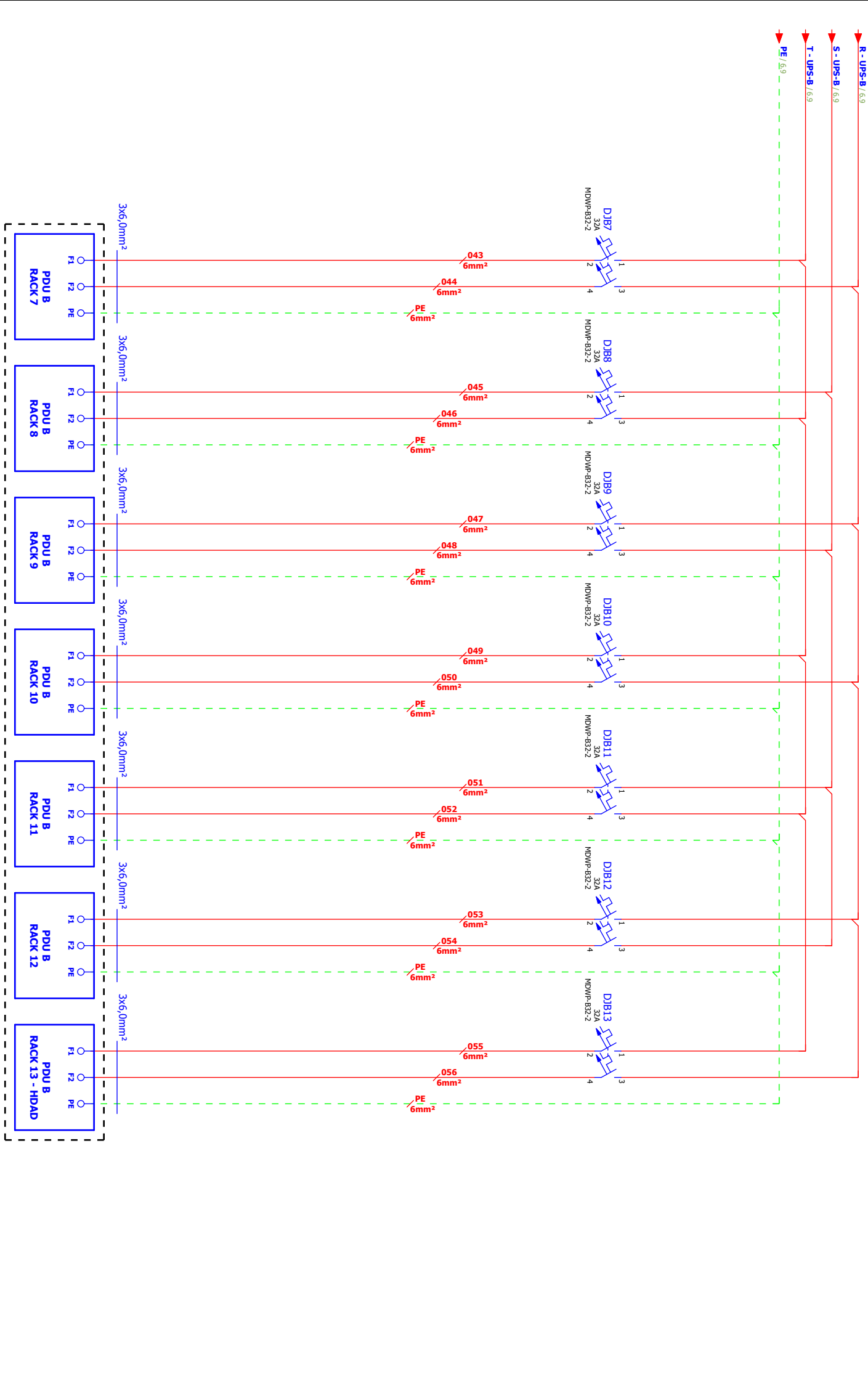
= CAL
+ EAA

Edição
5 / 8

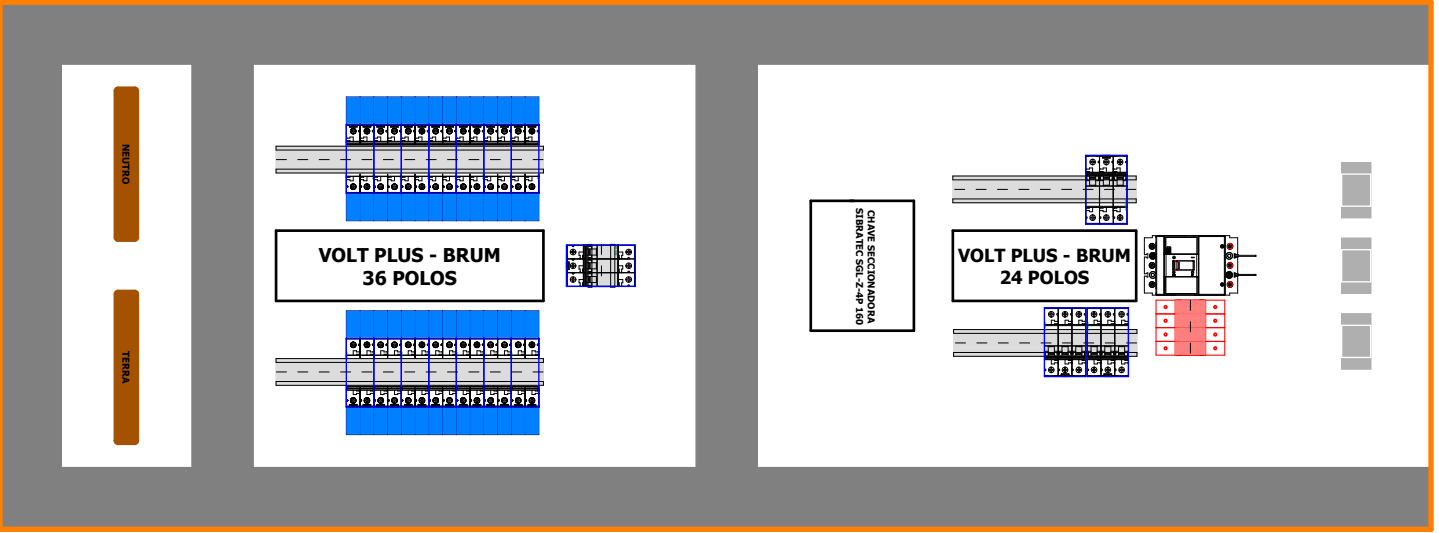
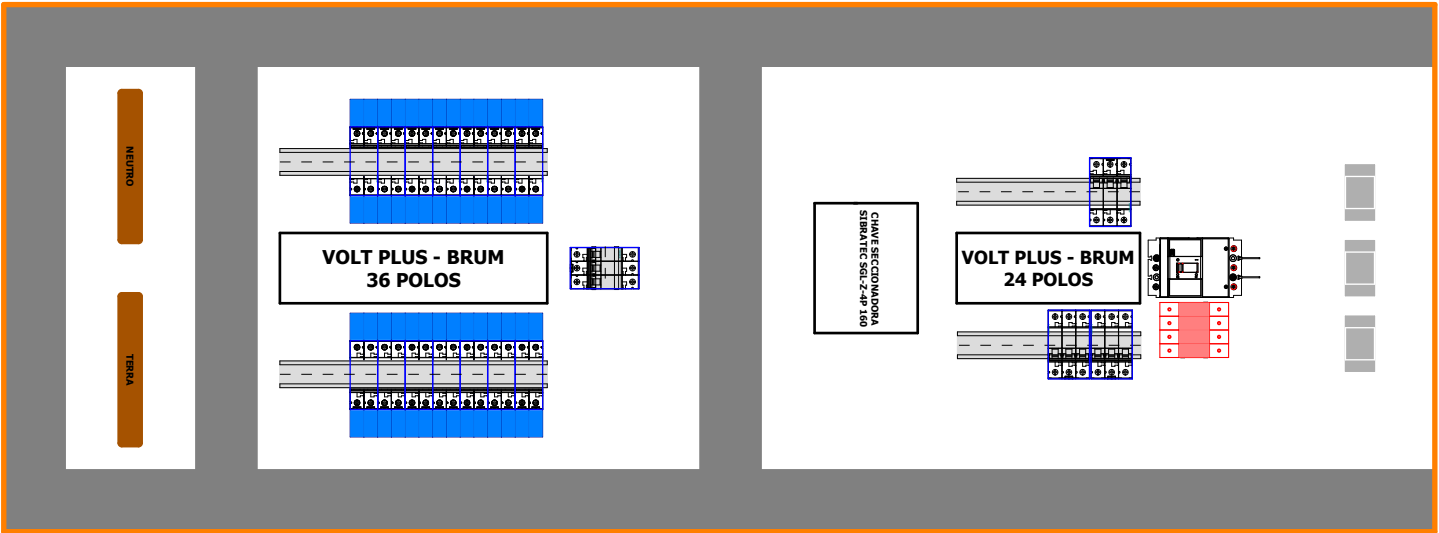


VAI PARA CHAVE DE
TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA 2
POSICIONADA NO QDAUX

VEM DO DJB-OUT
SAÍDA DA UPS-B



Aprovação		Data		EPLAN		Distribuição de Energia e		QDB_3		= CAL	
Data		19/05/2024		Editor		Eficiência Energética em Data				+ EIA	
Verif.		Paulo Pereira		Em substituição de		Centers					
Nome				Substituído por							
Orig.											
Trabalho de Graduação - Universidade Estadual Paulista											
Página											
7 / 8											
7											



Atenção		Data		EP LAN		Distribuição de Energia e		Layout QGBT		= CAI	
Data		19/05/2024		Editor		Em substituição de		Eficiência Energética em Data		+ EIA	
Nome		Paulo Pereira		Verif.		Substituído por		Centers		Trabalho de Graduação - Universidade Estadual Paulista	
Orig.										Folha	
										Página	
										8 / 8	
										8	

**ANEXO B – DIAGRAMA ELÉTRICO — QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO AUXILIAR
(QDAUX)**

Distribuição de Energia e Eficiência Energética em Data Centers



Paulo Lopes Portela Parreira

Tel.

Empresa / Cliente
Descrição do projeto
Número do projeto
Comissão

QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO AUXILIAR (QDAUX)
Trabalho de Graduação - Universidade Estadual Paulista
EPLAN

Fabricante (Empresa)

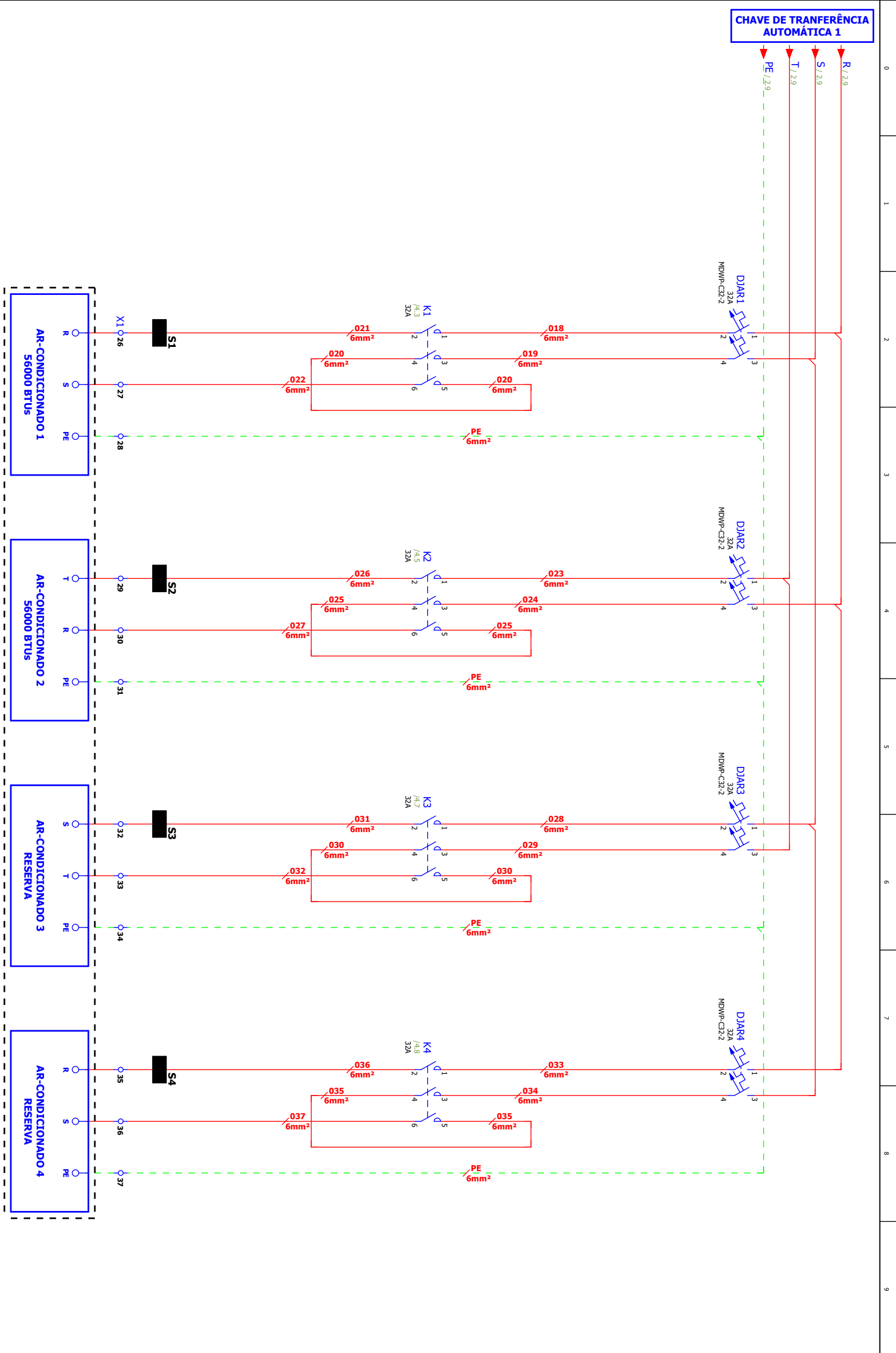
Distribuição de Energia e Eficiência Energética em Data Centers

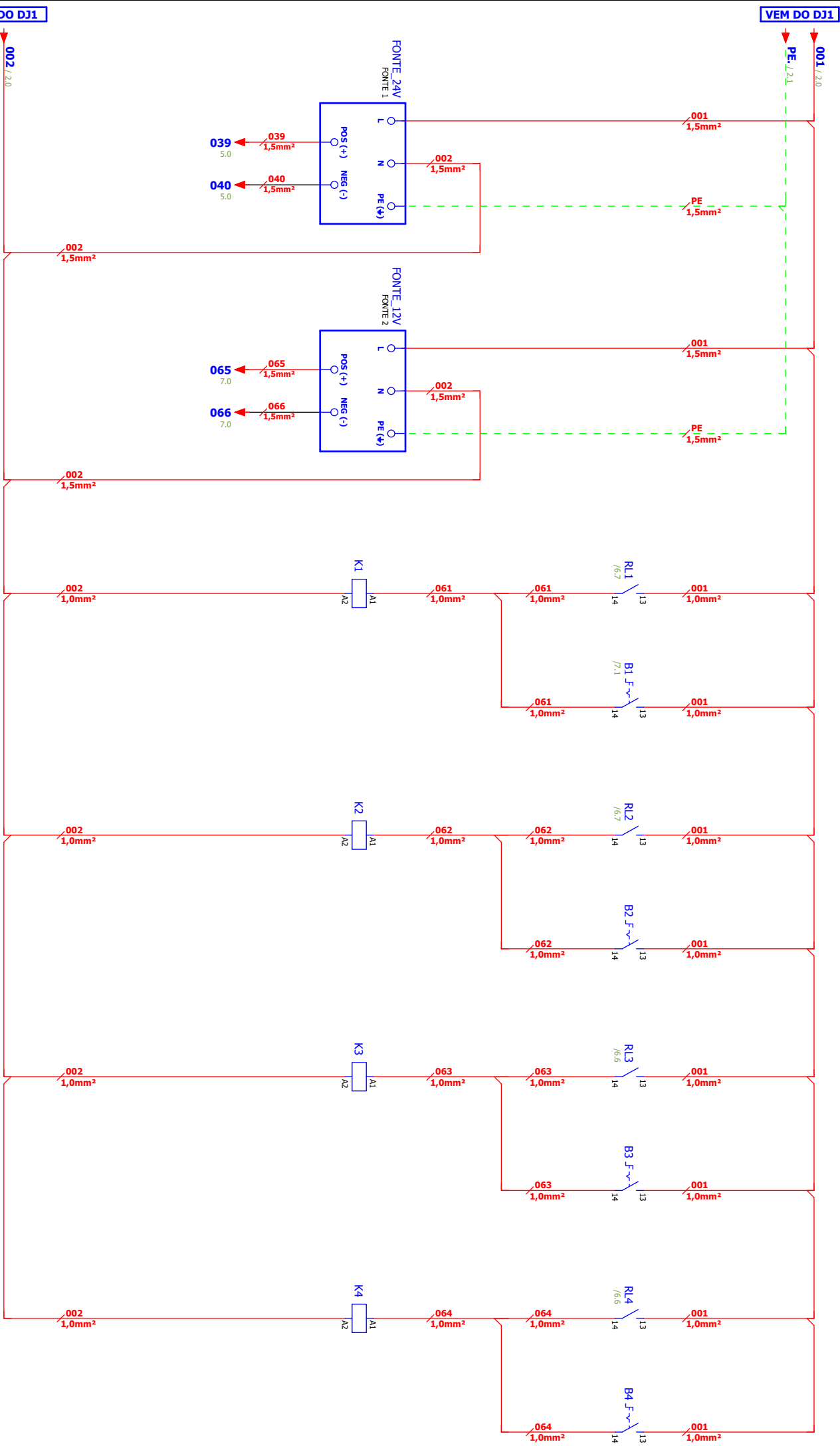
Caminho
Nome do projeto
Fazer
Tipo
Local de instalação
Responsável pelo projeto
Recursos da peça

Exemplo de projeto EPLAN
DIAGRAMA ELÉTRICO - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO AUXILIAR (QDAUX)

Criado em	27/06/2022	
Editado em	09/09/2024	de (abreviatura) PauloPortela

Quantidade de páginas 12





- K1 - Ar-condicionado 1 - Ligado/Desligado

K2 - Ar-condicionado 2 - Ligado/Desligado

K3 - Ar-condicionado 3 - Ligado/Desligado

K4 - Ar-condicionado 4 - Ligado/Desligado
- S1 - Relê de Corrente - AR-1

S2 - Relê de Corrente - AR-2

S3 - Relê de Corrente - AR-3

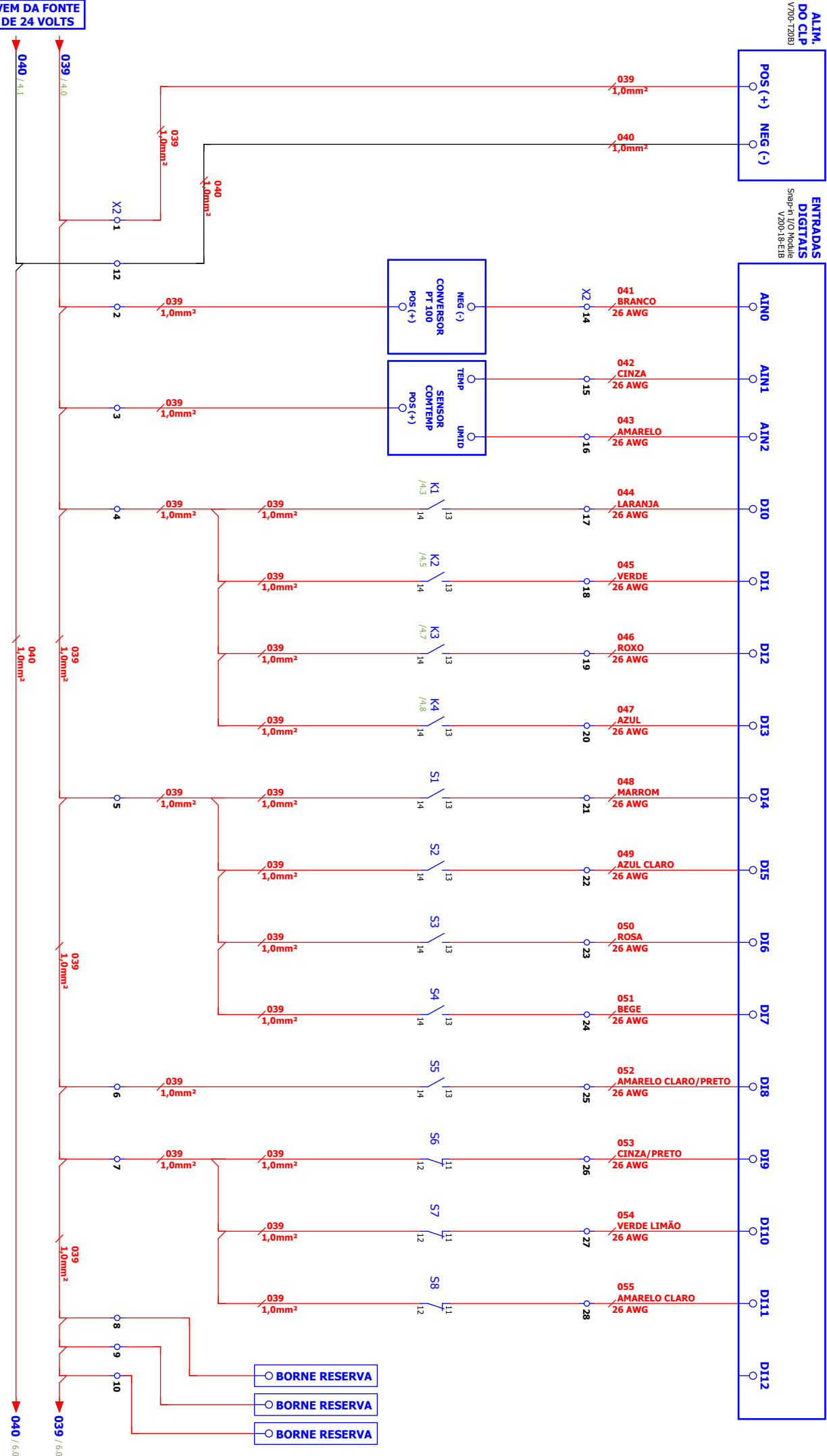
S4 - Relê de Corrente - AR-4
- S5 - Sensor da Porta Corta Fogo (Entrada)

S6 - Falha do SDACI

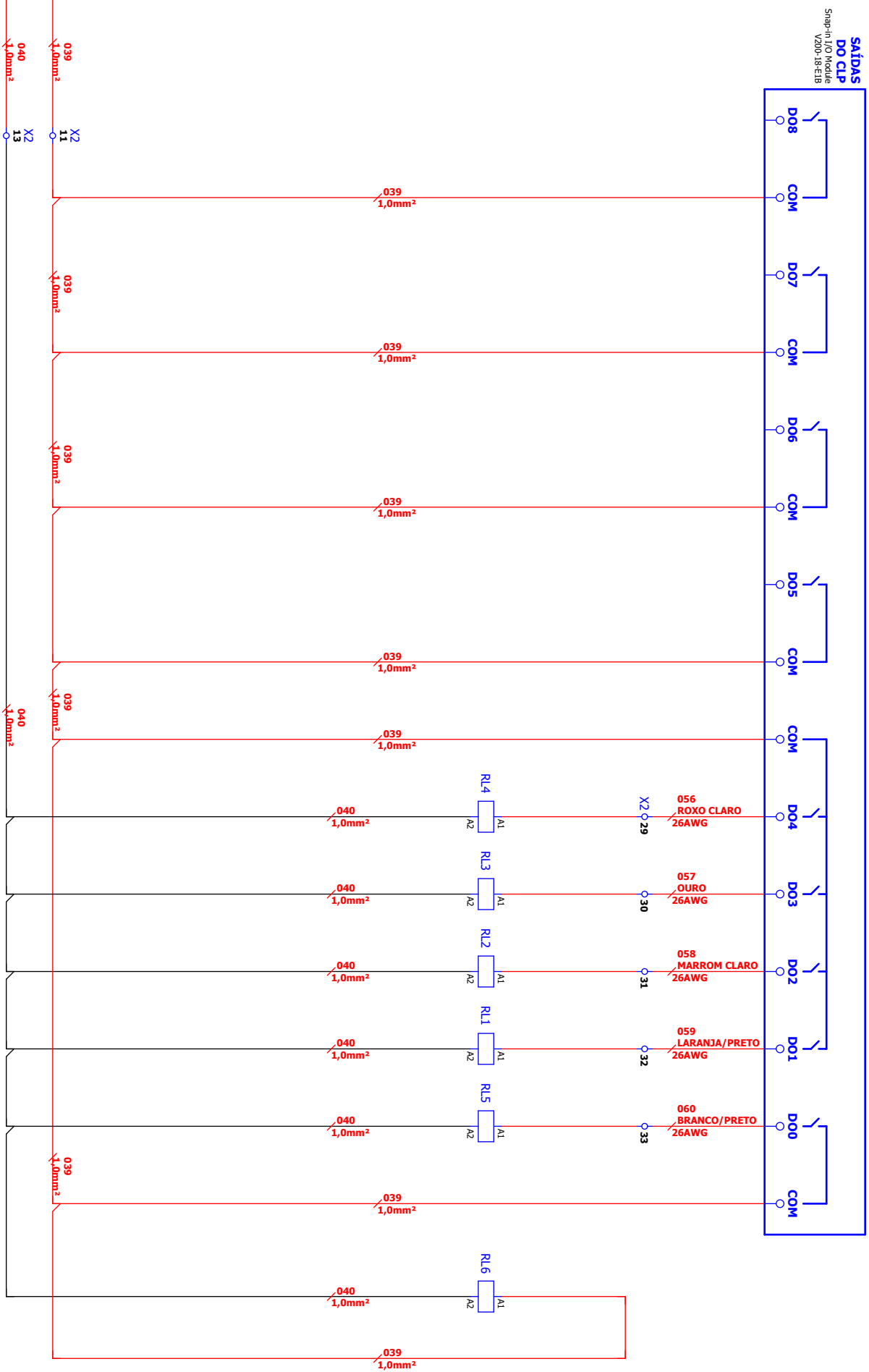
S7 - Pré-Alarme do SDACI

S8 - Alarme do SDACI

OBS: NAS ENTRADAS ANALÓGICAS É NECESSÁRIO FAZER O JUMPER ENTRE OS BORNES "I" E "V".



- RL1 - AÇIONA AR-CONDICIONADO 1
RL2 - AÇIONA AR-CONDICIONADO 2
RL3 - AÇIONA AR-CONDICIONADO 3
RL4 - AÇIONA AR-CONDICIONADO 4
RL5 - SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA 1
RL6 - RELÊ DE SEGURANÇA - FONTE 24V



**VEM DA FONTE
DE 24 VOLTS**

	Data	19/06/2024	EP/LAN	Distribuição de Energia e Eficiência Energética em Data Centers	Saídas do CLIP	= CAI + EAA	
	Editor	PauloPortela	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO AUXILIAR (QDAUX)				
	Verif.						
	Orig.						
Atenção	Nome	Em substituição de	Substituído por				Folha 6
	Data						Página 6 / 12

Diagrama de bornes

Fl3_001

Régua X1														Nome do cabo				Página / coluna						
Nome do cabo																								
Tipo de cabo																								
Designação do alvo														Ponto de conexão										
Borne																								
Ponte																								
Designação do alvo														Ponto de conexão										
Tipo de cabo																								
Texto de Função																								
CIRCUITO DE COMANDOS														-DICI	2	1	•	-FONTE_2AV	L				/20	
														-RL5		13								/20
														-DICI	4	2	•	-FONTE_2AV	N					/21
																		-FONTE_2AV	PE (+)					/21
														-RL5	14	4	•	-SINALIZAÇÃO DEEMERGÊNCIA	x1					/21
														-RL6	12									
																5	•	-SINALIZAÇÃO DEEMERGÊNCIA	x2					/22
														-DICI2	2	6	•	-SDPCI	R					/23
														-DICI2	4	7	•	-SDPCI	S					/23
																8	•	-SDPCI	PE					/23
CIRCUITO DE COMANDOS														-DICI1	9	•		-ILUMINAÇÃO DA SALA	R					/24
														-CHAVE DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA1	NC	10	•	-ILUMINAÇÃO DA SALA	N					/24
														-TUG	2	11	•	-TOMADA DE SERVIÇO	S					/24
														-TUG	4	12	•	-TOMADA DE SERVIÇO	T					/25
																13	•	-TOMADA DE SERVIÇO	PE					/25
ILUMINAÇÃO DA SALA														-DIFI1	2	14	•	-FORÇADOR DE AR1	R					/26
														-DIFI1		15	•	-FORÇADOR DE AR1	S					/26
																16	•	-FORÇADOR DE AR1	PE					/26
														-DIFI2	2	17	•	-FORÇADOR DE AR2	T					/27
														-DIFI2		18	•	-FORÇADOR DE AR2	R					/27
																19	•	-FORÇADOR DE AR2	PE					/27
														-DIFI3	2	20	•	-FORÇADOR DE AR3-RESERVA	S					/28
														-DIFI3		21	•	-FORÇADOR DE AR3-RESERVA	T					/28
																22	•	-FORÇADOR DE AR3-RESERVA	PE					/28
														-DIFI3	2	23	•	-DISJUNTOR RESERVA	R					/28
CHAVE DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA 1														-DICI3	4	24	•	-DISJUNTOR RESERVA	S					/29
																25	•	-DISJUNTOR RESERVA	PE					/29
														-K1	2	26	•	-AR-CONDICIONADO01	R					/32
														-K1	6	27	•	-AR-CONDICIONADO01	S					/32
																28	•	-AR-CONDICIONADO01	PE					/33
														-K2	2	29	•	-AR-CONDICIONADO02	T					/34
														-K2	6	30	•	-AR-CONDICIONADO02	R					/34
																31	•	-AR-CONDICIONADO02	PE					/35
														-K3	2	32	•	-AR-CONDICIONADO03-RESERVA	S					/36
														-K3	6	33	•	-AR-CONDICIONADO03-RESERVA	T					/36

