



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

DALMO CAVALCANTE VASCONCELOS PARENTE MENDES

SUBESTAÇÕES: GUIA DE PROJETO E ESTUDO DE CASO

FORTALEZA

2018

DALMO CAVALCANTE VASCONCELOS PARENTE MENDES

SUBESTAÇÕES: GUIA DE PROJETO E ESTUDO DE CASO

Monografia submetida à Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Graduação Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M49s Mendes, Dalmo.
SUBESTAÇÕES : GUIA DE PROJETO E ESTUDO DE CASO / Dalmo Mendes. – 2018.
103 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo lima.
1. Subestações. 2. Transmissão de energia elétrica. 3. Estudo de caso. 4. Proteção. 5. Relé. I. Título.
CDD 621.3
-

DALMO CAVALCANTE VASCONCELOS PARENTE MENDES

SUBESTAÇÕES: GUIA DE PROJETO E ESTUDO DE CASO

Monografia submetida à Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Graduação Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. M.Sc. Carlos Gustavo Castelo Branco
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Henrique Helder Campos Araújo
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

A Deus.

Aos meus pais, Alexandra e Dalter.

Aos meus irmãos, Gustavo, Marília e Paula.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço aos meus pais, não consigo rememorar o suficiente por todo o esforço diário feito para proporcionar a mim, de maneira confortável, todas as condições necessárias para seguir meus anseios.

Agradeço aos meus irmãos, Gustavo, por todos os momentos felizes que temos; Marília, pelos ensinamentos e maturidade; e Paula, por me fazer olhar para as coisas de um outro ângulo.

Minha namorada, Camila Costa, que em tão pouco tempo já se fez parte fundamental para elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos de colégio, em especial ao Eng. Tobias Valentim, que se fez exemplo, pelos momentos de estudo e descontração, às vezes misturados, mas sempre necessários.

Aos companheiros de curso, e a partir de agora companheiros de profissão, Clayton Paiva, Felipe Porto, Raimundo Vidal, Herivelton Távora, Matheus Jonathan, Josedmundo Neto, Enzo Furlan e muitos outros que se fizeram presente durante esses cinco anos. Espero que possamos continuar com nossos laços de amizade daqui em diante.

Aos professores da banca, pelo tempo e dedicação concedidos.

Por fim, agradeço aos funcionários da Universidade Federal do Ceará pelo trabalho feito, desde a limpeza das salas e áreas de uso dos alunos até a segurança feita durante as noites de estudo no campus. Seus papéis foram fundamentais para minha formação e bom funcionamento da universidade.

“Tudo está conectado. Conexão é poder.”

(Watch Dogs)

RESUMO

O trabalho a seguir define e especifica, de forma detalhada, as subestações, seus equipamentos e suas aplicações, reportando detalhes sobre sua concepção e projeto. Devido à grande complexidade que um projeto de subestação pode chegar, poucos profissionais estão familiarizados com seus conceitos, foi então feito um estudo de caso para facilitar o aprendizado quanto aos cálculos e parâmetros envolvidos durante a construção de uma subestação instalada para uso de um consumidor final, com dois transformadores de 750 kVA e um de 300 kVA. Foram detalhados todos os processos requeridos, com ênfase nos cálculos para parametrização do relé de proteção.

Palavras-chave: Subestação. Equipamentos. Proteção. Projeto. Distribuição de energia.

ABSTRACT

The following work defines and specifies, in detail, the substations, their equipment and their applications, reporting details about their conception and design. Due to the great complexity that a substation project can reach, few professionals are familiar with its concepts, a case study was then made to facilitate learning about the calculations and parameters involved during the construction of a substation installed for use by an end consumer, with two transformers of 700 kVA and one of 300 kVA. All required processes were detailed, with emphasis on the calculations for parameterization of the protection relay.

Keywords: Substation. Equipments. Protection. Project. Energy distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Subestação abrigada.....	19
Figura 2.2 – Subestação externa	19
Figura 2.3 – Esquemático SEP.....	21
Figura 2.4 – Cabo de alta tensão.....	22
Figura 2.5 – Mufla externa e interna.....	23
Figura 2.6 – Disjuntor a óleo de pequeno volume.....	27
Figura 2.7 – Impedâncias conectadas em delta (Δ) e estrela (Y).....	29
Figura 2.8 – Transformador de corrente tipo barra fixa de alta tensão.....	33
Figura 2.9 – Chave seccionadora tripolar.....	35
Figura 2.10 – Formas de construção de diversas chaves seccionadoras.....	36
Figura 2.11 – Relé de proteção ABB.....	37
Figura 2.12 – Barramento simples.....	40
Figura 2.13 – Duplo barramento simples.....	41
Figura 2.14 – Barramento simples mais barra de transferência, barramento duplo mais barra de transferência.....	42
Figura 2.15 – Barramento de disjuntor e meio.....	43
Figura 2.16 – Barramento duplo e barramento duplo com disjuntor duplo.....	43
Figura 2.17 – Barramento em anel.....	44
Figura 3.1 – Fluxograma para nova subestação.....	47
Figura 2.12 – Duplo barramento simples.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Subestações quanto ao nível de tensão.....	20
Tabela 2.2 – Simbologia de resfriamento para transformadores.....	30
Tabela 2.3 – Relações nominais para TP's.....	31
Tabela 2.4 – Letras em funções do Relé.....	38
Tabela 2.5 – Relações entre configurações de barramentos.....	44
Tabela 3.1 – Demanda geral.....	49
Tabela 3.2 – QGBT1.....	51
Tabela 3.3 – QGBT2.....	52
Tabela 3.4 – Parâmetros concessionária.....	58
Tabela 3.5 – Ajustes da proteção concessionária.....	65
Tabela 3.6 – Ajustes da proteção cliente.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

SE: Subestação

NEMA: *National Electrical Manufacturers Association*

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

ANSI: *American National Standards Institute*

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnica

NR: Norma Regulamentadora

TR: Transformador

TC: Transformador de Corrente

TP: Transformador de Potencial

TPC: Transformador de Potencial Capacitivo

TPI: Transformador de Potencial Indutivo

DJ: Disjuntor

PR: Pára-Raio

CS: Chave Seccionadora

CPU: *Central Processing Unit*

CC: Corrente Contínua

CA: Corrente Alternada

AT: Alta tensão

BT: Baixa Tensão

CI: Caixa de Interligação

W: Watt

V: Volt

A: Amper

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
INTRODUÇÃO	15
1.1 Introdução	15
1.2 Objetivo	16
1.3 Estrutura do Trabalho	16
CAPÍTULO 2	17
SUBESTAÇÕES: SUAS CLASSIFICAÇÕES E SEUS EQUIPAMENTOS	17
2.1 Introdução à Subestações	17
2.2 Classificações	17
2.2.1 Classificações Quanto ao Local de Instalação	17
2.2.1.1 Internas	17
2.2.1.2 Externas	18
2.2.2 Classificações Quanto ao Nível de Tensão	19
2.2.3 Classificações Quanto sua Função	19
2.2.3.1 Distribuição	19
2.2.3.2 Transformação	20
2.2.3.3 Manobra e Proteção	20
2.2.4 Classificação Quanto Forma de Operação	21
2.3 Equipamentos	21
2.3.1 Cabos	21
2.3.2 Para-raios	23
2.3.2.1 Para-raios Haste Reta	23
2.3.2.2 Cabo Para-raios	23
2.3.2.3 Para-raios Válvula	23
2.3.3 Disjuntores	24
2.3.3.1 Extinção a Ar Comprimido	24
2.3.3.2 Extinção por Gás SF6	25
2.3.3.3 Disjuntores a Óleo	25
2.3.3.4 Disjuntores a Vácuo	26
2.3.4 Transformadores de Força	27
2.3.4 Transformadores de Instrumentos	29
2.3.4.1 Transformador de Potência	29
2.3.4.2 Transformador de Corrente	31
2.3.5 Chaves Seccionadoras	33
2.3.6 Relés de Proteção	36
2.3.7 Barramentos	38
2.3.7.1 Tipos de Barramentos	39

CAPÍTULO 3	44
ESTUDO DE PROJETO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA	44
3.1 Introdução	44
3.2 Determinação de Necessidade	47
3.2.1 Cálculo da Carga e Demanda Geral	47
3.2.2 Cálculo da Carga e Demanda dos QGBT	49
3.3 Localização e Modelo da SE	52
3.4 Características Básicas da SE	53
3.5 Avaliação do Modelo	53
3.6 Especificação de Equipamentos	54
3.6.1 Estudo de Proteção	54
3.6.1.1 Dimensionamento de Condutores e Proteções Gerais	55
3.6.1.2 Cálculos de Coordenação e Seletividade	56
3.6.1.3 Dados Fornecidos Pela Concessionária	56
3.6.1.4 Metodologia para Cálculo de Curto-Circuito	57
3.6.1.5 Cálculo das Impedâncias dos Condutores da Rede de Distribuição	59
3.6.1.6 Cálculo das Correntes de Curto-Circuito no Ponto de Entrega	60
3.6.1.7 Ajuste do Relé	61
3.6.1.7.1 Dimensionamento dos TCs	61
3.6.1.7.2 Cálculo dos Tapes do Relé	63
3.6.1.7.3 Dial de Tempo	64
3.6.1.7.3 Ajuste de Função 50/50N	66
3.6.1.8 Coordenograma	68
CAPÍTULO 4	71
CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	71
4.1 Conclusão	71
4.2 Trabalhos Futuros	71
BIBLIOGRAFIA	73
ANEXO A - NT-C 002/2017	75
ANEXO B - DADOS ENEL	78
ANEXO C - SEPAM S20	84

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A medida que uma sociedade cresce, aumenta na mesma proporção a demanda por energia elétrica. Combustível básico do desenvolvimento, ela está diretamente ligada ao aumento de importantes índices como expectativa de vida e crescimento populacional de uma nação.

O Brasil entra em destaque quanto a sua produção energética por meio de fontes renováveis, onde 81,8% de toda sua produção obtida através de fonte hidráulica, biomassa, eólica e solar. No mês de fevereiro do ano corrente, a capacidade instalada total de geração de energia elétrica do Brasil atingiu 158.682 MW [1].

Diante de tamanha importância, cria-se a necessidade de melhorias e maior dedicação ao planejamento energético do país. As três vertentes do sistema elétrico devem receber a devida atenção: geração, transmissão e distribuição. Sem uma boa integração de todos os níveis do sistema, o potencial gerado não pode ser disponibilizado para os consumidores finais.

Quando em um Sistema Elétrico de Potência (SEP), as etapas de geração, transmissão e distribuição possuem tensões ideais de trabalho diferentes entre si. Isto é necessário para que a transmissão seja feita da forma mais eficiente possível, diminuindo as perdas por efeito Joule e também as secções dos cabos condutores, gerando assim menos gastos com infraestrutura do transporte da energia. Dessa forma, as tensões devem ter seus valores elevados durante o transporte até as redes de distribuição, onde será feita sua modificação conforme as necessidades locais. Através do uso dos equipamentos de manobra, transformação e de compensação, as subestações fazem a adequação destas tensões e frequências, quando necessário, assim como garantem a proteção e possibilitam manobras no SEP onde estão inseridas.

Visando a padronização da qualidade, foram elaborados, por parte da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), parâmetros e procedimentos para o desenvolvimento de um projeto de Subestação (SE) de um consumidor acessante. Publicado como

Procedimentos de Distribuição (PRODIST), este regulamenta toda a relação entre as concessionárias distribuidoras e os demais agentes consumidores do sistema elétrico nacional.

1.2 Objetivo

Com a expectativa de uma abordagem global e de entendimento relativamente descomplicado para interessados na área, este trabalho procura tratar dos conceitos gerais das subestações elétricas, de sua definição até o processo da elaboração do seu projeto.

Serão definidos os equipamentos utilizados nas instalações de uma SE e suas possíveis variações de acordo com os cenários existentes, influenciadas pelas características do sistema e sua disponibilidade de área e valores financeiros.

Finalmente, será feito um estudo de caso de uma subestação consumidora localizada em um edifício comercial em Fortaleza, onde será possível aplicar os conceitos discutidos durante toda a extensão do trabalho.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em quatro Capítulos, estruturados da forma a ser definida a seguir.

No segundo Capítulo, é feita uma abordagem sobre as subdivisões das subestações elétricas através do ponto de vista de suas diferentes configurações. São descritos e analisados também os principais equipamentos de uma SE. Posteriormente, no terceiro Capítulo, são introduzidos os fatores básicos para um projeto de subestação segundo normas técnicas publicadas. Simultaneamente é apresentado a ficha técnica de um prédio comercial onde foi feito o estudo de caso deste trabalho, e, a partir desses dados, daremos início ao estudo do projeto da subestação.

Finalmente, o trabalho é encerrado no Capítulo quatro, onde é apresentada a conclusão e sugestões para possíveis estudos futuros.

CAPÍTULO 2

SUBESTAÇÕES: SUAS CLASSIFICAÇÕES E SEUS EQUIPAMENTOS

2.1 Introdução à Subestações

Trabalhando como centro de proteção e transferência de energia elétrica dentro de um SEP, as subestações direcionam e controlam os fluxos energéticos, alterando, principalmente, os níveis de tensão durante a transmissão e distribuição de energia para os agentes e consumidores do sistema elétrico onde estão inseridas.

“Subestação é um conjunto de condutores, aparelhos e equipamentos destinados a modificar as características da energia elétrica (tensão e corrente), permitindo a sua distribuição aos pontos de consumo conectados ao sistema elétrico em níveis adequados de utilização”, de acordo com J. Mamede Filho (2017)

2.2 Classificações

As subestações podem ser divididas de acordo com algumas de suas características, são elas.

2.2.1 Classificações Quanto ao Local de Instalação

São divididas em: internas ou externas.

2.2.1.1 Internas

Construídas de forma que seus equipamentos e aparelhos permaneçam dentro de um espaço abrigado, podendo também estas serem isoladas a gás, tal como o hexafluoreto de enxofre (SF₆); ou imersas em óleo, uma subestação blindada ou compacta. SE internas, ou abrigadas, podem ser construídas em invólucros metálicos ou em alvenaria, sendo o segundo o caso mais recorrente em indústrias por conta do seu custo relativamente reduzido, com

facilidade na montagem e manutenção. A Figura 2.1 ilustra a subestação abrigada de alvenaria.

Figura 2.1 - Subestação abrigada.

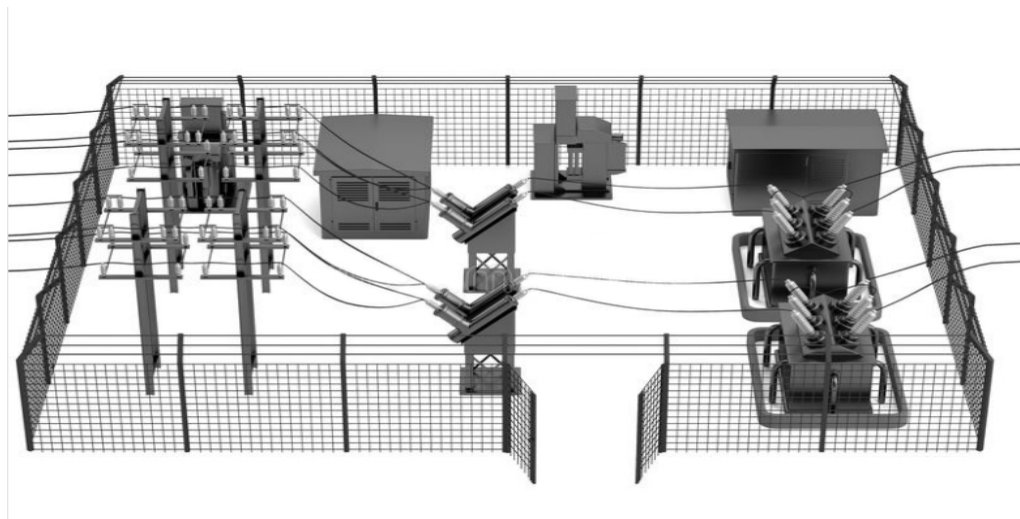


Fonte: COPEL (2011).

2.2.1.2 Externas

São aquelas instaladas ao ar livre, expostas a diversas intempéries, exigindo o emprego de equipamentos próprios para o funcionamento em condições adversas. Suas manutenções são feitas de maneira mais frequente quando comparada com SE abrigadas. Sua ilustração pode ser vista na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Subestação externa. [3]



Fonte: Adaptado de DreamsTime (2018).

2.2.2 Classificações Quanto ao Nível de Tensão

Quando com o intuito de diferenciar as SE a partir de seu nível de tensão, é utilizado o seu maior nível de tensão para que seja feita sua denominação. É importante lembrar que quanto menor a capacidade da subestação, maior será o custo por kVA. As classificações podem ser vistas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Subestações quanto ao nível de tensão.

Tensão	Classificação
$\leq 1,0$ kV	Baixa Tensão
$\geq 1,0$ kV e $< 36,2$ kV	Média Tensão
$\geq 36,2$ kV e < 230 kV	Alta Tensão
≥ 230 kV e < 750 kV	Extra Alta Tensão
≥ 750 kV	Ultra Alta Tensão

2.2.3 Classificações Quanto sua Função

Baseada na finalidade da SE, essa classificação é considerada uma definição macro de cada instalação. Alguns autores seguem divisões distintas quanto às funções, mas todas as classificações são derivadas de fundamentais: distribuição, transformação e proteção e manobra. As subestações podem agir em um ou mais desses pontos simultaneamente.

2.2.3.1 Distribuição

Responsável pela distribuição da energia elétrica até os centros consumidores, utiliza-se de uma combinação de equipamentos conectados de forma que seja feita a redução da tensão para que o fornecimento de energia elétrica seja feita de maneira adequada para o consumidor final. Em geral, são construídas dentro de propriedade particular, supridas por subestações de subtransmissão.

2.2.3.2 Transformação

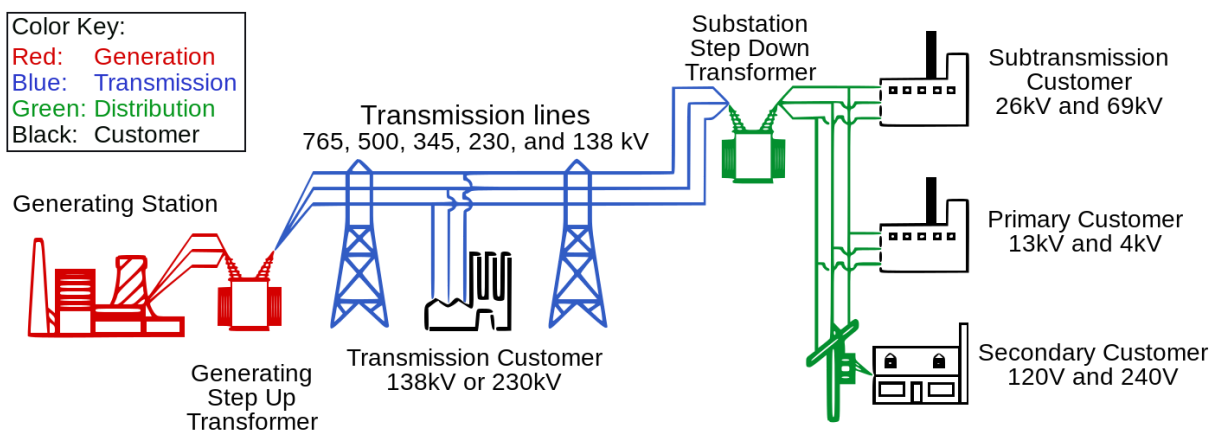
Visando menores perdas causadas por grandes correntes, a transmissão de energia deve ser feita de forma mais eficiente possível. A partir da elevação da tensão, e quando necessário o seu abaixamento ou até mesmo retificação, as SEs de transformação conseguem garantir um bom funcionamento das transmissões internas de um sistema elétrico de potência.

As subestações elevadoras estão em geral localizadas próximas de centros geradores, e como o nome já diz, são responsáveis pela elevação da tensão. Já as subestações abaixadoras são geralmente associadas a centros consumidores, fazendo o rebaixamento das tensões de transmissão, alimentando as subestações de distribuição em um nível adequado de tensão.

2.2.3.3 Manobra e Proteção

Também chamadas de subtransmissão, interligam as subestações de transformação até as subestações de distribuição, garantindo a proteção do sistema por meio da inserção ou retirada de partes do mesmo, com o nível de tensão constante durante sua operação. Na Figura seguinte, podemos ver um simples esquemático de como essas subestações estão posicionadas no SEP.

Figura 2.3 - Esquemático SEP.



Fonte: EEEInterviewTips (2018).

2.2.4 Classificação Quanto Forma de Operação

Finalmente, as SEs podem ser divididas quanto sua forma de operação. Elas podem ser operadas de maneira automatizadas, semi-automatizadas ou por meio de operador. As automatizadas são as mais utilizadas atualmente, onde sua supervisão é feita através de computadores supervisionados a distância. As semi-automatizadas, apesar de também providas de computadores de monitoramento, requerem um operador no local para a realização de operações. Em subestações de grande porte, é usual a presença de um operador para o bom funcionamento das operações locais e uso correto dos equipamentos de supervisão.

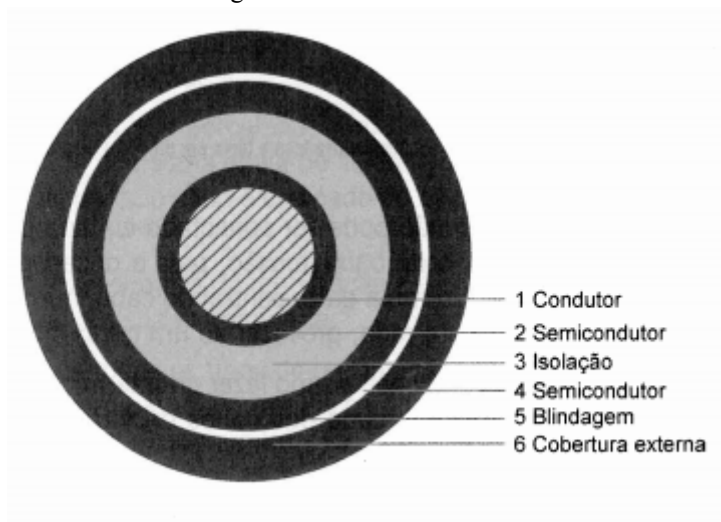
2.3 Equipamentos

Uma subestação de energia é composta por uma grande variedade de equipamentos, funcionando de modo a atingir os objetivos preestabelecidos em sua definição. Neste tópico serão definidas as características, as funções e formas de utilização dos equipamentos mais utilizados nas SE, sempre visando a melhora coordenação possível do sistema. O cálculo para seus dimensionamentos será apresentado mais à frente, no capítulo três.

2.3.1 Cabos

Apesar de apresentarem o mesmo princípios, os cabos de alta tensão possuem, além do condutor de cobre ou alumínio ao centro, camadas a mais no seu exterior.

Figura 2.4 - Cabo de Alta Tensão.



Fonte: (Gedra;De Barros, 2015).

Na Figura 2.4, é possível ver as diversas camadas que compõem um cabo de alta tensão. As camadas semicondutoras estão dispostas com o intuito de filtrar as linhas de campo magnético geradas pela passagem de corrente. Já a blindagem garante que, caso ocorra uma falha de isolamento, a região externa do cabo não estará energizada. Para isso, a blindagem deve estar sempre aterrada.

Devido a essa configuração de aterramento do cabo, sua conexão não pode ser feita de maneira similar aos cabos de baixa tensão, pois existe a possibilidade do contato da área condutora com o setor de blindagem, causando um curto-circuito. Para que esse risco seja eliminado, é utilizada a mufla, vista na Figura 2.5, que pode ser: termocontrátil, onde a camada é posicionada sobre o final do cabo e em seguida feita sua contração a partir da aplicação de calor; terminação em porcelana, composta por uma peça de porcelana abastada de silicone, garantindo a vedação; retrátil a frio, na qual a capa externa é mantida expandida por um anel de náilon, que quando retirado garante o isolamento da terminação; e finalmente o tipo mais simples, terminação enfaixada, composta somente por fitas enroladas no terminal do cabo.

Figura 2.5 - Mufla externa e interna.



Fonte: Zafira (2018).

2.3.2 Para-raios

Responsáveis por proteger um circuito através da redução do nível de sobretensão causada por descargas atmosféricas ou por conta de manobras, os para-raios são utilizados em diversos equipamentos de uma SE, sempre dimensionado para sua classe de proteção segundo especificado na NBR-5424, e estão localizados normalmente nas entradas e saídas de linhas e também próximo a transformadores.

2.3.2.1 Para-raios Haste Reta

Construído a partir de uma haste metálica e um captor, esse tipo de configuração é encontrado nas partes mais altas das instalações civis, e pode também ser composto pelo princípio da gaiola de Faraday, protegendo contra descargas atmosféricas.

2.3.2.2 Cabo Para-raios

As linhas utilizadas para o transporte de grandes quantidades de energia elétrica utilizam cabos para-raios para protegê-las de descargas atmosféricas e atenuação da indutância de linha. Esses cabos estão localizados acima dos condutores, e podem também ser utilizados para o transporte de energia elétrica através do uso da tecnologia Cabos Para-Raios Energizados (PRE).

2.3.2.3 Para-raios Válvula

Os para-raios tipo válvula são compostos por elementos de proteção de zinco intrínsecos a um cilindro metálico, o qual em condições normais isola fase e terra. Com a conexão feita em paralelo com o circuito, cada fase deve receber uma válvula para que a proteção possa atuar. As proteções atuam quando uma sobretensão, seja essa causada por descarga atmosférica ou pelo próprio sistema, atingem o terminal do para-raio, o qual fecha um caminho de menor impedância para descarga de energia, protegendo os equipamentos ligados a ele.

2.3.3 Disjuntores

São equipamento de manobra utilizados com o intuito de conduzir e interromper correntes em condições normais de uso do circuito, assim como conduzir por um período de tempo específico e interromper correntes sob condições anormais de uso do sistema, como as correntes de curto-circuito. Tais comandos devem ser enviados através de um relé secundário, alimentados por sensores de correntes em cada fase do circuito, associado ao disjuntor.

Um disjuntor de potência quando em manobra de fechamento, deve também, no caso de um curto-circuito, permanecer em posição fechada e conduzir a corrente de fuga. Quando em abertura, o disjuntor deve ter sua faixa de atuação calculada de forma que todas as manobras possíveis da rede onde está instalado sejam efetuadas com segurança.

Durante a abertura dos contatos do disjuntor, é formado um arco elétrico, definido por “passagem da corrente elétrica através do ar ou do seu meio isolante. Como o ar ou o meio isolante mantêm uma rigidez dielétrica maior que o condutor, essa passagem da corrente elétrica provoca uma elevada temperatura, da ordem de milhares de graus Celsius, no caminho que ela percorre” (BARROS; GEDRA, 2015). Tal fenômeno é observado principalmente durante a operação de abertura de um disjuntor, quando um canal condutor é formado no meio com alta ionização, elevando expressivamente seu ao redor e com isso provocando desgastes internos. A continuidade é garantida então por esse condutor até que o seu valor seja nula no ciclo senoidal.

Com o intuito de evitar a formação de arcos elétricos no interior dos disjuntores, são empregadas diferentes tecnologias de extinção, caracterizando assim os diversos modelos existentes, sendo os mais comuns:

2.3.3.1 Extinção a Ar Comprimido

Devido sua necessidade de constante monitoramento e manutenção de sua câmara de ar, o seu uso é restrito em subestações de nível de tensão maior que 69 kV, apesar de sua elevada eficiência. O ar comprimido, armazenado num reservatório pressurizado, é injetado diretamente sobre a região entre os contatos, determinando a compressão do arco por meio do seu resfriamento. A confiabilidade de tais disjuntores é dada pela velocidade e intensidade do sopro de ar, que chegam facilmente a velocidade do som quando a relação entre ar

comprimido x ar ambiente for igual ou maior do que 2, garantindo o interrompimento de correntes de até 80 kA.

Esse sopro garante uma renovação do dielétrico e ajuda a diminuição da temperatura na região do arco. Como existe um aumento na densidade do ar, sua rigidez dielétrica e sua capacidade térmica são melhoradas, favorecendo a dissipação do calor e o aumento na velocidade no casamento de íons e elétrons.

Sua construção pode ser feita em duas maneiras:

- **Câmara de sopro axial de duas direções (dual blast)** - Uma válvula de sopro auxiliar e outra principal são abertas para o espaço exterior, possibilitando um fluxo de ar através dos contatos.
- **Câmara de sopro axial de uma direção (mono blast)** - O fluxo de ar comprimido se dá por meio do contato móvel.

2.3.3.2 Extinção por Gás SF₆

Com um funcionamento semelhante aos disjuntores por extinção a ar comprimido, esse modelo utiliza o gás hexafluoreto de enxofre (SF₆) inserido diretamente entre os contatos, seja por meio de alta pressão ou não, para garantir a extinção do arco elétrico. Trata-se de um gás dielétrico, inodoro, inerte até temperaturas altíssimas e não inflamável.

Sua utilização se aplica desde disjuntores em tensões de 500 kV até 13,8 kV, e tem sua utilização popularizada por seu baixo desgaste das peças e conseqüentemente baixo custo de manutenção.

2.3.3.3 Disjuntores a Óleo

Utilizados desde modelos mais antepassados de disjuntores, por conta disso alguns os consideram antiquados, o óleo mineral sempre foi um ótimo meio de extinção do arco elétrico. São utilizados em tensões de até 230 kV e podem ser subdivididos em disjuntores de grande volume de óleo e de pequeno volume de óleo.

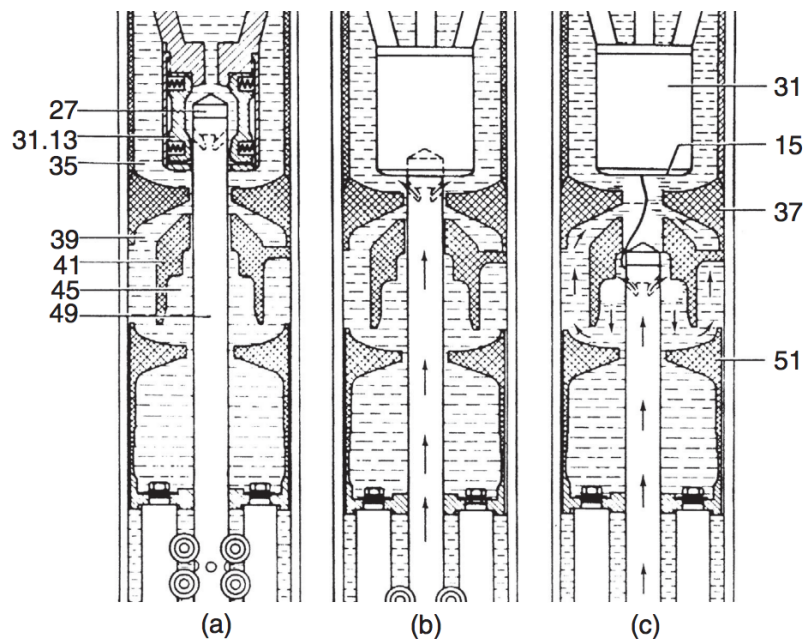
O primeiro, com menor capacidade, é composto basicamente por um grande recipiente metálico no qual são imersos os mecanismos de extinção de arco. Com as fases submersas, de

maneira monofásica nos de maiores capacidades, o óleo é utilizado tanto para interrupção das correntes como para isolamento.

Já no de pequeno volume, utilizou-se do desenvolvimento de câmaras individuais dos polos dos disjuntores para o uso de um menor volume de óleo mineral, acarretando em um menor custo e alta confiabilidade.

O método de extinção do arco elétrico através do uso de óleo mineral é dado pela decomposição do óleo quando em altas temperaturas. Com o aumento da temperatura causada pela separação dos contatos do disjuntor, acontece a ionização do óleo, e conseqüentemente acontece o arco elétrico. Com isso, ocorre a vaporização do óleo e a geração que gases, que empurram o óleo com temperatura menor e maior rigidez dielétrica diretamente para o ponto de formação do arco, como a Figura 2.6 demonstra.

Figura 2.6 - Disjuntor a óleo de pequeno volume.



- a) Contato móvel na posição LIGADO.
- b) O fluxo de óleo através da haste oca do contato móvel atua sobre o arco.
- c) O arco é submetido à ação combinada dos fluxos de óleo dependente e independente da corrente.

Fonte: Abramam (2006).

2.3.3.4 Disjuntores a Vácuo

Considerados os disjuntores com maior eficiência para extinção de arcos, pois não é possível a decomposição de gases no vácuo, mantendo um dielétrico permanente. Podem ser utilizados em tensões entre 2 kV a 145 kV.

Apesar de suas vantagens sobre os outros métodos, o desenvolvimento da tecnologia a vácuo está limitada ao avanço tecnológico para que exista uma compatibilização entre seu custo em relação a sua faixa de operação.

2.3.4 Transformadores de Força

Equipamento base de uma SE, o transformador de força possibilita a flexibilização das tensões para a transferência de potências de forma mais conveniente, tanto do ponto de vista econômico quanto técnico. Seu funcionamento é baseado na transferência de energia elétrica de um circuito primário para um outro circuito, fazendo a elevação ou rebaixamento de seu nível de tensão e corrente.

Essencialmente, um transformador é constituído por dois ou mais enrolamentos concatenados por um campo magnético mútuo. Se um destes enrolamentos, o primário, for ligado a um gerador de tensão alternada, será produzido um fluxo alternado, cuja amplitude dependerá da tensão e número de espiras do primário. O fluxo mútuo concatenar-se-á com o outro enrolamento, o secundário, e induzirá uma tensão cujo valor dependerá do número de espiras do secundário.

De acordo com A. E. Fitzgerald (1975).

Baseado na definição dada, temos então uma relação clara entre o número de espiras do primário e o número de espiras do secundário. Essa relação é chamada de Relação de Transformação, e a partir dela é possível associar tensões e correntes de entrada e saída.

$$\frac{N1}{N2} = \frac{U1}{U2} = \frac{I1}{I2} = a \quad (2.1)$$

Onde:

N1 = espiras no primário

N2 = espiras no secundário

U1 = tensão nominal no primário

U2 = tensão nominal no secundário

I1 = corrente nominal no primário

I2 = corrente nominal no secundário

a = Relação de Transformação

Como as tensões podem apresentar variações de acordo com a localização da instalação do transformador, em alguns casos pode-se utilizar o TAP para ajustar a relação de transformação, compensando essas diferenças. Essa mudança é feita através de derivações das espiras do enrolamento primário ou secundário, que provocam a retirada de algumas espiras da bobina, criando assim uma nova relação.

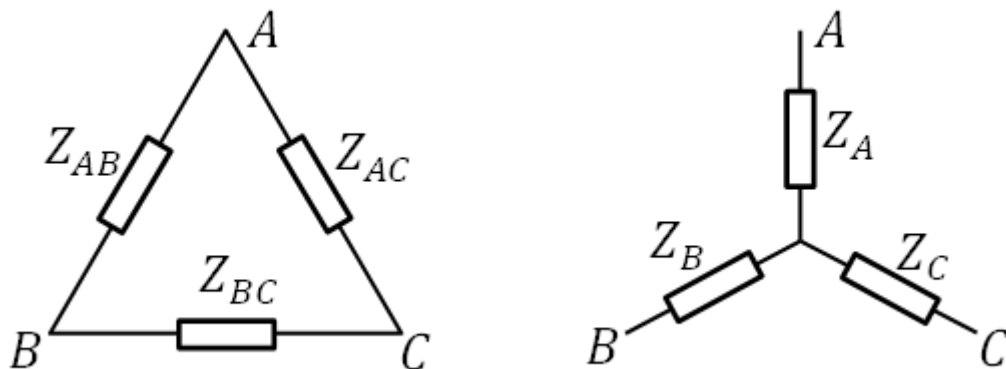
Pode-se dividir os transformadores de diversas maneiras, como:

- **Tipo construtivo do núcleo:**

- Monofásico: Usam um núcleo para cada fase do sistema.
- Trifásico: Tipo mais comum nos sistemas de potência, possui três bobinas primárias e três bobinas secundárias;

Três transformadores monofásicos podem ser utilizados para substituir um transformador trifásico, mas a utilização do modelo trifásico traz benefícios como menor custo, menor peso, menor espaço ocupado e uma maior eficiência. A ligação deste último pode ser feita de três maneiras diferentes, assim como é feito nos terminais de um motor, seguindo como base sua finalidade. A primeira delas, ligação estrela, é mais comumente utilizada no fechamento de baixa tensão, enquanto o fechamento em triângulo é encontrado frequentemente no lado de alta tensão. A outra possibilidade de ligação é em zigue-zague, onde as harmônicas de terceira ordem são atenuadas assim como existe a possibilidade de três níveis de tensão, mas esse tipo de uso em transformadores apresenta um maior custo quando comparado com o modelo delta-estrela.

Figura 2.7 - Impedâncias conectadas em delta (Δ) e estrela (Y).



Fonte: Wikipédia (2018).

- **Meio de refrigeração:**

Os transformadores podem ter mais de um tipo de resfriamento, sendo eles de quatro tipos, definidos através de quatro símbolos baseados na norma ABNT NBR 5356:2007, de onde vem a tabela 2.2 [9]. Seguindo essa tabela é possível identificar, na nomenclatura do transformador, o seu tipo de refrigeração.

Tabela 2.2- Simbologia de resfriamento para transformadores.

Natureza do meio de resfriamento	Símbolo
Óleo	O
Líquido isolante sintético não inflamável	L
Gás	G
Água	W
Ar	A
Natureza da circulação	Símbolo
Natural	N
Forçada (fluxo não dirigido no caso de óleo)	F
Forçada com fluxo de óleo dirigido	D

2.3.4 Transformadores de Instrumentos

Composto pelo TC (Transformador de Corrente) e o TP (Transformador de Potencial), os transformadores de instrumentos são equipamentos utilizados para fazer a conexão entre as instalações de tensões elevadas e os equipamentos de medição e proteção, os quais não dispõem de um isolamento adequado para serem alimentados diretamente do circuito em questão.

Assim como os transformadores de força, os transformadores de instrumentos são compostos por dois enrolamentos, o primário, conectado ao sistema; e o secundário, ligado ao equipamento de medição ou proteção, dependendo de sua aplicação.

2.3.4.1 Transformador de Potência

Quando são feitas as medições de um sistema de alta tensão, não é possível que as medições sejam feitas diretamente da rede primária, e com o intuito de isolar essa rede

(primário) do circuito de baixa tensão (secundário), são utilizados os TPs (Transformadores de Potência). Além da finalidade descrita anteriormente, os TPs também são responsáveis de produzir os efeitos transitórios e de regime permanente aplicados ao circuito do primário no secundário do mesmo. Isso é feito com a ligação do primário em derivação ao sistema, e o secundário utilizado para alimentação dos instrumentos de medição e proteção.

Os valores nominais de saída, assim como a relação de transformação dos transformadores de potência são padronizados de acordo com a norma NBR 6855:2009, de onde foi retirada a tabela 2.3 [10].

Tabela 2.3 - Relações nominais para TPs.

Ligação entre fases		Ligação entre fase e terra			
Tensão Primária Nominal (V)	Relação Nominal	Tensão Primária Nominal (V)	Relação Nominal		
			Tensão Secundária Nominal (V)		
			115/3	115/ $\sqrt{3}$	115
115	1:1	-	-	-	-
230	2:1	-	-	-	-
402,5	3,5:1	-	-	-	-
460	4:1	-	-	-	-
2.300	20:1	2.300/ $\sqrt{3}$	36:1	20:1	12:1
3.450	30:1	3.450/ $\sqrt{3}$	52,5:1	30:1	17,5:1
4.025	35:1	4.025/ $\sqrt{3}$	60:1	35:1	20:1
4.600	40:1	4.600/ $\sqrt{3}$	72:1	40:1	24:1
6.900	60:1	6.900/ $\sqrt{3}$	105:1	60:1	35:1
8.050	70:1	8.050/ $\sqrt{3}$	120:1	70:1	40:1
11.500	100:1	11.500/ $\sqrt{3}$	180:1	100:1	60:1
13.800	120:1	13.800/ $\sqrt{3}$	210:1	120:1	70:1
23.000	200:1	23.000/ $\sqrt{3}$	360:1	200:1	120:1
34.500	300:1	34.500/ $\sqrt{3}$	525:1	300:1	175:1
46.000	400:1	46.000/ $\sqrt{3}$	720:1	400:1	240:1
69.000	600:1	69.000/ $\sqrt{3}$	1050:1	600:1	350:1
-	-	138.000/ $\sqrt{3}$	2100:1	1.200:1	700:1
-	-	230.000/ $\sqrt{3}$	3600:1	2.000:1	1.200:1
-	-	345.000/ $\sqrt{3}$	-	3.000:1	1.800:1
-	-	440.000/ $\sqrt{3}$	-	4.000:1	2.300:1
-	-	500.000/ $\sqrt{3}$	-	4.500:1	2.500:1
-	-	525.000/ $\sqrt{3}$	-	4.500:1	2.600:1
-	-	765.000/ $\sqrt{3}$	-	6.600:1	3.800:1

Em relação a sua construção, os TPs podem ser classificados em:

- **Transformador de potencial capacitivo** - feitos basicamente de capacitores, são utilizados com a função de divisor de tensão e de acoplar a troca de informações via PLC (*Power Line Carrier*) ao sistema de potência. Utilizados principalmente em sistemas acima de 138 kV, mas necessários em sistemas de menor tensão quando utilizado sistema PLC.
- **Transformador de potencial indutivo** - possuem as mesmas características de um transformador de força, descrito anteriormente, conectado a cargas de menor tamanho. Uso predominante em tensões até 69 kV.
- **Divisores resistivos, capacitivos e mistos** - não são utilizados em SEP, com aplicação apenas em circuitos de ensaios e pesquisas, se assemelham aos TPs indutivos e capacitivos, mas construídos com resistores para divisão da tensão.

2.3.4.2 Transformador de Corrente

Assim como os TPs, o transformador de corrente atua limitando os valores gerados pelo circuito de alta tensão, de modo que a medição das grandezas elétricas sejam feitas sem o comprometimento da estrutura dos aparelhos. No caso do TC, o seu enrolamento primário é ligado em série com a alta tensão, e assim como em um amperímetro, possui valor de impedância desprezível quando analisada desse lado, independente do valor da carga no seu secundário. Com isso, o equipamento é capaz de produzir a corrente do seu primário no secundário com sua posição fasorial mantida.

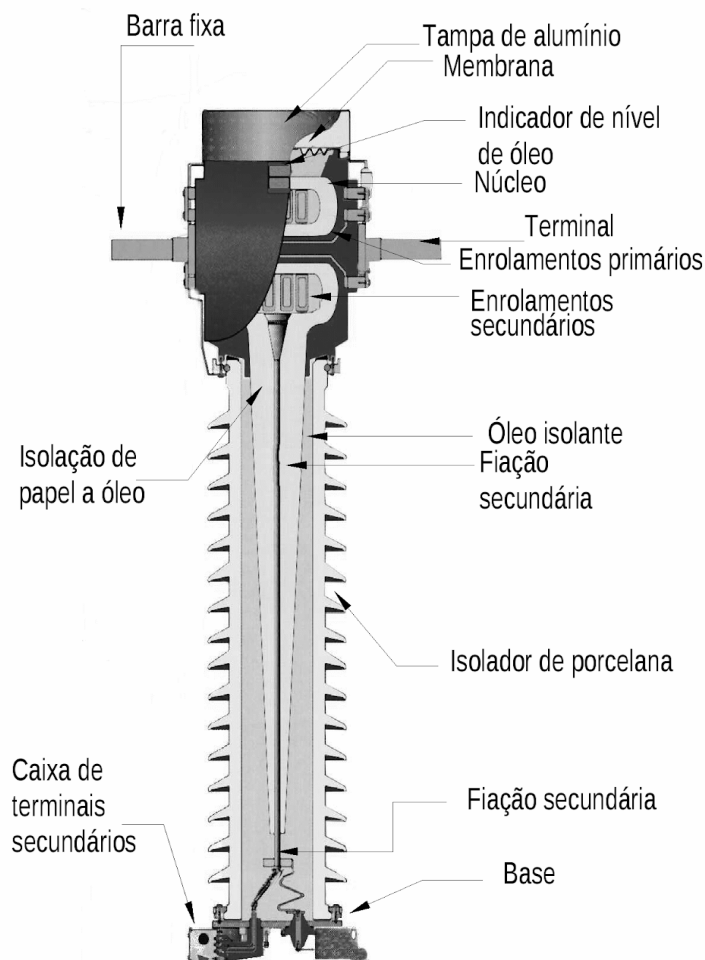
O equipamento em questão pode ser utilizado com finalidade de:

- **Serviço de medição** - necessitam de alto grau de precisão (entre 0,3% e 0,6% de erro) quando utilizados para essa finalidade, pois alimentam medidores que são geralmente referente a faturamento. Possuem alta corrente de saturação, aproximadamente quatro vezes a corrente nominal.
- **Serviço de proteção** - diferente dos modelos utilizados para medição, esses modelos não necessitam de altos níveis de precisão, e trabalham na faixa de 10% a 20% de erro de medição, com saturação em torno de vinte vezes a corrente nominal. São utilizados para suprir equipamentos de proteção e para fazer o isolamento entre circuito primário e secundário.

Os transformadores de corrente podem também ser classificados quanto a sua construção, da seguinte forma:

- **Tipo primário enrolado** - esse modelo possui os enrolamentos secundários e primários montados no núcleo e isolados. Utilizado principalmente com a finalidade de medição e onde pequenas relações são precisas.
- **Tipo barra** - não possui enrolamento primário, mas possui o secundário montado no núcleo permanentemente e isolado. A imagem mostra o esquema de um transformador de corrente tipo barra fixa de alta tensão.

Figura 2.8 - Transformador de corrente tipo barra fixa de alta tensão.



Fonte: CPE (2013).

- **Tipo bucha** - construído a partir de um núcleo toroidal com enrolamentos secundário, inserido em uma bucha de isolamento, esse tipo de TC não possui enrolamento primário, pois dentro dessa bucha existe um condutor que o

substituí. Por possuir um maior circuito magnético, ele é mais preciso para altas correntes e menos precisos para correntes menores, devidos às correntes de excitação. Comumente encontrado dentro de equipamentos elétricos e não utilizado para fins de medição.

- **Tipo janela** - semelhante ao tipo bucha, onde o primário é o próprio condutor, possui, além disso, o ar como meio isolante entre o primário e o secundário.
- **Tipo com núcleo dividido** - alteração feita no TC tipo janela onde é possível desacoplar o núcleo para facilitar o manuseamento do condutor do primário.
- **Tipo com vários núcleos** - montado com vários enrolamentos secundários isolados separadamente sobre seus respectivos núcleos, resultando em um enrolamento primário com espiras entrelaçando todos os secundários.

2.3.5 Chaves Seccionadoras

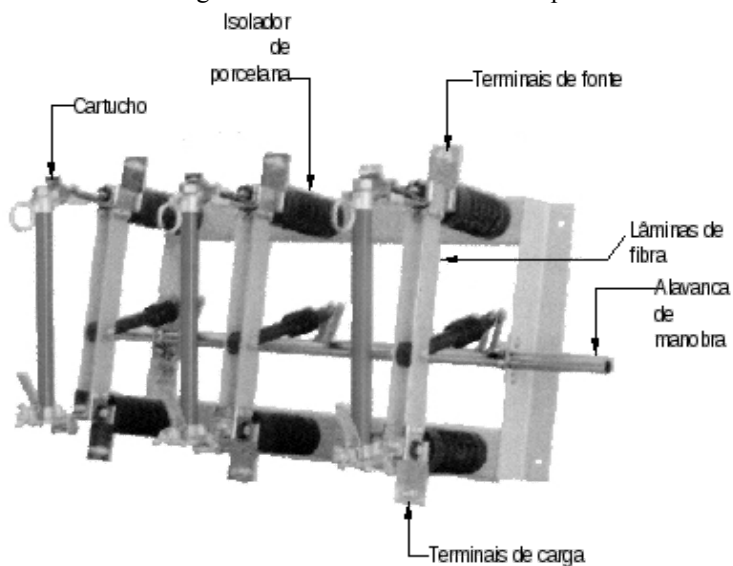
Definidas como equipamentos de manobra, as chaves seccionadoras destinam-se a abertura, fechamento e transferência das ligações de um circuito elétrico sem carga, pois, diferente dos disjuntores, não possuem método de ruptura de arco elétrico. As chaves, devem, principalmente, obedecer alguns requisitos de operação. Primeiramente, quando em posição fechada, a corrente deve fluir livremente através de seus contatos, inclusive em ocorrências de curto-circuito, sem apresentar sobreaquecimento. Quando abertas, elas devem suportar de maneira segura as tensões em seus terminais, podendo ela ser acompanhada ou não de uma lâmina de terra. Finalmente, todas as suas partes de operação devem ser isoladas, garantindo segurança em sua operação.

As chaves apresentam grande pluralidade de funções, onde a mais comum delas a de isolar, através do seccionamento, partes do sistema por quaisquer necessidades operativas, sejam elas com cunho de manutenção ou de realocação de carga. No caso de uma manutenção, as chaves funcionam como proteção para os operadores, e por isso deve apresentar suportabilidade para os níveis de grandezas possíveis do sistema, por mais que seu uso seja feito sempre com o sistema desligado por outro dispositivo, garantindo condições seguras para os procedimentos a serem executados.

Entre as linhas de transmissão e a terra, são conectadas as chaves de aterramento quando a linha é retirada para manutenção. Essas chaves prestam o papel de descarregar toda a tensão armazenada na capacitância gerada pela terra e a linha de transmissão.

Os acionamentos são geralmente trifásicos e simultâneos, realizados através de um único comando. O contato móvel, munido de isolador de sustentação, é acoplado a um eixo móvel, acionado por bastão ou manopla, o qual define a posição aberta (para baixo) ou fechada (para cima).

Figura 2.9 - Chave seccionadora tripolar.



Fonte: CPE (2013).

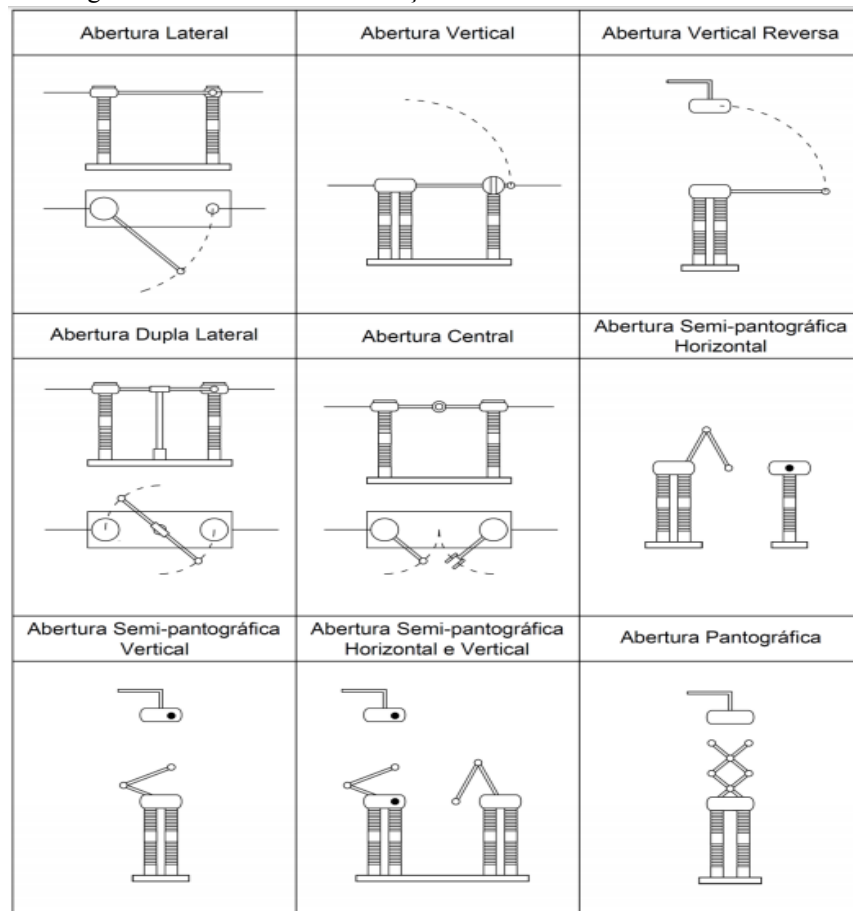
Por mais básico que a ideia da chave seccionadora pareça quando comparada com os demais acessórios de uma subestação, mecanismos de proteção estão presentes na sua construção. Dispositivos de intertravamento entre os mecanismos de abertura e fechamento das lâminas, seja manual ou motorizado, impedem que o sistema opere enquanto os contatos estiverem abertos.

A sua classificação pode ser feita por meio do seu tipo de abertura, seguindo suas especificações de nível de tensão, esquema de manobra da subestação, função desempenhada, dentre outros. Os tipos mais utilizados são:

- **Seccionadores de abertura vertical** - composta por uma base com três isoladores fixados sobre ela, montadas de forma horizontal, vertical ou invertida, permite uma menor distância entre fases, e conseqüentemente pode ser utilizada em correntes de até quatro mil ampéres. O seu movimento é feito de forma que o contato seja fechado de forma perpendicular a sua base de isolamento.

- **Seccionadoras de abertura dupla lateral** - abertura ou fechamento realizados através da rotação de um contato no plano paralelo ao plano de montagem da base, possui alta resistência a curto circuito devido ao seu centro de gravidade bem apoiado. Utilizada para isolar equipamentos, *by-pass* ou chave seletora, a chave pode ter montagem horizontal, vertical ou invertida.
- **Seccionadoras de abertura central** - a secção é feita através da separação das duas extremidades de lâminas apoiadas em colunas rotativas ligadas a uma única base. Nesse esquema, a chave apresenta maior distância entre os pólos, permitindo montagem horizontal ou vertical.
- **Seccionadores de dupla abertura central** - semelhante a seccionadora de abertura dupla central, possui a secção feita por duas extremidades apoiadas em hastes rotativas, dessa vez com a presença de duas lâminas de sentido invertido.
- **Seccionadores semi-pantográficos** - com economia de espaço, essa chave possui a lâmina articulada, dobrando-se sobre si.

Figura 2.10 - Formas de construção de diversas chaves seccionadoras.



Fonte: Gonçalves (2012).

2.3.6 Relés de Proteção

Sistemas elétricos estão constantemente sujeitos a falhas causadas por descargas atmosféricas, danificação do isolamento, quebra de condutores, dentre outras, causando elevadas correntes de curto-circuito. Correntes como essas podem causar danos nos equipamentos do SEP, sejam eles a nível de geração, transmissão ou distribuição, resultando em falha no fornecimento de energia e até mesmo risco de vida para pessoas. Com isso, esquemas de proteção são necessários para garantir o bom funcionamento do sistema, e, por sua vez, são comandados basicamente por relés de proteção.

Figura 2.11: Relé de Proteção ABB.



Fonte: ABB (2016).

Em sua maioria, sistemas elétricos utilizam funções de sobrecorrentes, voltadas para curto-circuitos, e de sobretensões, sejam elas de origem interna ou por conta de descargas atmosféricas, dentre outras proteções necessárias.

A tabela ANSI reúne todas as funções padronizadas por norma e associadas por um número. A partir dela podemos nos referir a certas proteções de acordo com o número representado na tabela. Funções combinadas são bastante utilizadas, podendo ainda ser utilizadas letras para maior precisão na aplicação do relé, como pode ser visto na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Letras em funções do Relé.

Letra	Descrição
B	Barramento
F	Campo
G	Aterramento ou Gerador
N	Neutro
T	Transformador

Dentre as funções mais utilizadas, temos:

- **Relé de Religamento – Função ANSI (79)**
 - Tem como objetivo reduzir o tempo de interrupção de energia, conservar a estabilidade do sistema e evitar sobrecargas.
 - Pode ser monopolar ou tripolar.
 - O relé possui temporizador para contagem do tempo necessário para que o disjuntor restabeleça suas características dielétricas.
- **Relé de Sobrecorrente Instantâneo – Função ANSI (50)**
 - Utilizados em diversos pontos da subestação para detecção de sobrecorrente de alta amplitude.
- **Relé de Sobrecorrente Temporizado – Função ANSI (51)**
 - Utilizados em diversos pontos da subestação para detecção de sobrecorrente.
- **Relé de Sincronismo – Função ANSI (25)**
 - Utilizado para sincronização de geradores, sincronismo de LT's ou de tensões de barras. Isto é feito a partir de comparação dos valores de tensão (módulo e ângulo) de dois enrolamentos secundários de transformadores de potencial.
- **Relé de Sobretensão – Função ANSI (59)**
 - Protege o sistema elétrico contra sobretensões de maior duração (quanto maior a amplitude, menor o tempo de tolerância).
 - Quando $V > V_{\text{max}} \text{ admissível}$, o relé atua e provoca disparo dos disjuntores.

- **Relé de Subtensão – Função ANSI (27)**
 - Evita o prolongamento de situações de subtensão.
 - Quando $V < V_{\min}$ admissível, o relé atua e provoca disparo dos disjuntores. Em alguns casos, esta proteção é combinada com a proteção de sobrecorrente, para melhor caracterização do curto-circuito.
- **Relé de Sobrecorrente com restrição de tensão – Função ANSI (51V)**
 - Tem o objetivo de diferenciar a situação de sobrecarga da situação de curto-circuito.
- **Relé de Bloqueio – Função ANSI (86)**
 - Multiplicadores de contato
 - Atuam nos circuitos de disparo e bloqueiam o fechamento dos disjuntores.
 - São providos de chave para rearme mecânico ou de botoeira para rearme elétrico.

2.3.7 Barramentos

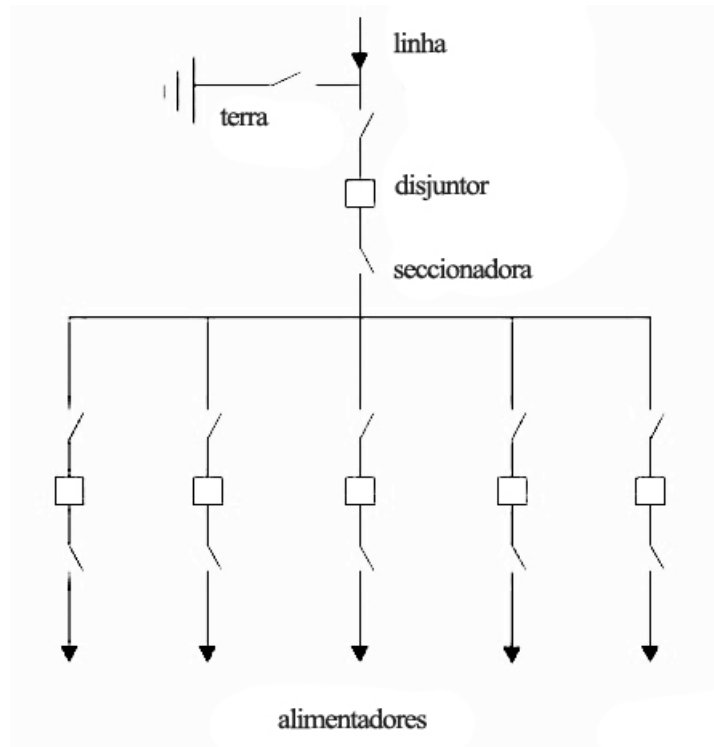
Também utilizados para diferenciar as subestações de acordo com sua configuração de instalação, os barramentos são condutores robustos que agem como nós nos sistema de uma subestação. Assim como é desejado em todos os tipos de condutores, sua impedância é desprezível, e é através deles que o esquema de ligação é feito, podendo conectar equipamentos como trafos e disjuntores. A configuração dos barramentos deve ter seus alicerces fincados em conceitos como o custo, a confiabilidade do sistema, simplicidade de construção e manutenção e facilidade para agregar futuras expansões.

“Os barramentos são elementos de seção transversal, normalmente de formato retangular ou circular, instalados no interior de quadros de comando ou em subestações abrigadas, blindadas e ao tempo, com finalidade de coletar as correntes que chegam da fonte e distribuí-las aos diversos alimentadores a eles conectados.” J. Mamede Filho (2017).

2.3.7.1 Tipos de Barramentos

Os barramentos podem ser utilizados em diversas configurações, baseados em seu funcionamento de operação e formas de manutenção, como descritos a seguir.

Figura 2.12 - Barramento simples.

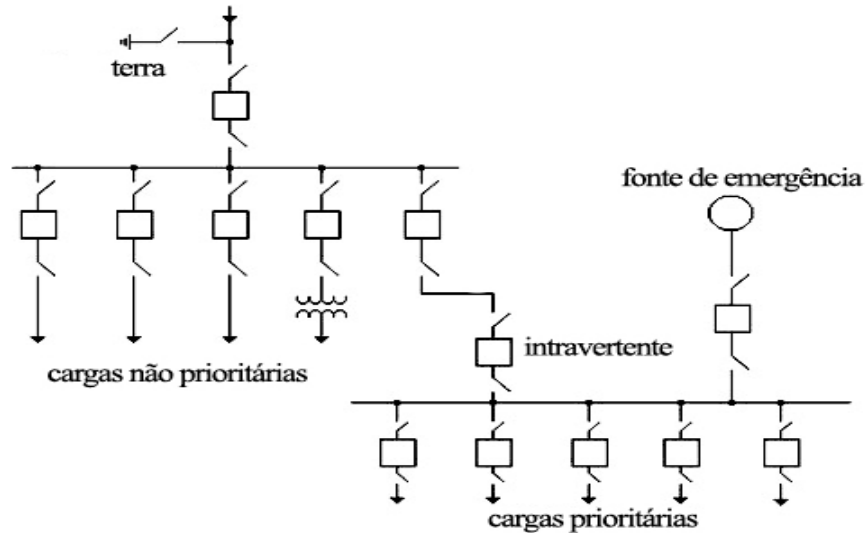


Fonte: Próprio autor.

- **Barramento simples** - utilizado em subestações de apenas um barramento de alta ou baixa tensão. É a mais básica das configurações encontradas, com características simples e baixo custo de instalação. Devido a sua simplicidade, garante um alto grau de segurança durante manobras, pois possui fácil visibilidade do sistema como um todo. Em contrapartida, essa configuração deve ser utilizada apenas em sistema onde, em caso de falta ou manutenção, a seção em questão deverá ser totalmente desligada. Para sistemas como subestações de distribuição de pequeno porte, não é interessante que toda um setor fique sem alimentação em caso de falta, então, para garantir maior continuidade no fornecimento, são utilizados disjuntores de interligação de barra ou chave seccionadora para que, em caso de falta em uma barra, as outras possam funcionar normalmente. Esses são chamados sistemas de **barramentos simples seccionados**.

No caso de existência de cargas prioritárias e uma fonte de emergência, o consumidor deve fazer o uso de uma configuração com **duplo barramento simples**, onde uma segunda barra, derivada da primeira, é alimentada por uma fonte capaz de suprir as cargas em falta da alimentação principal.

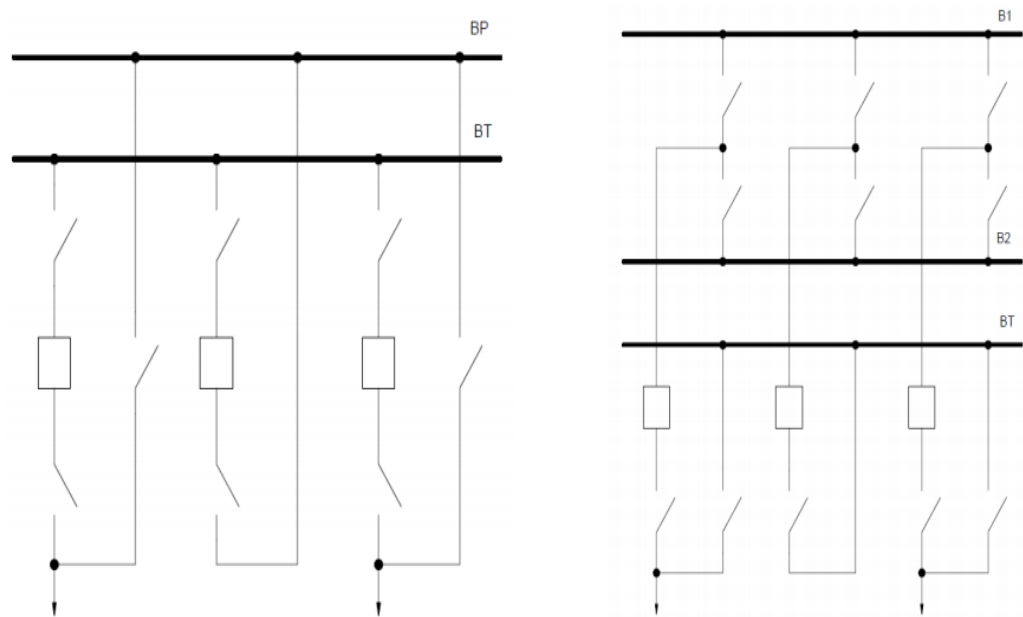
Figura 2.13 - Duplo barramento simples.



Fonte: Próprio autor.

- **Barramento auxiliar** - por conta de sua alta flexibilidade de operação, é um dos modelos mais comuns nas subestações atuais, principalmente em localidades de grande poluição que requerem constante desligamento dos equipamentos para limpeza. Nessa configuração, são utilizados disjuntores para que a barra principal seja ligada a uma barra auxiliar, como demonstrado na Figura 2.14. Quando surge a necessidade de manutenção relacionada a barra principal, chaves de *by-pass* são ativadas para que o disjuntor de transferência atue, desviando o fluxo de potência entre as duas barras. Para que o sistema continue com sua proteção completa, podem ser utilizados relés biestáveis, que fazem a transferência do *trip* para o novo disjuntor atuante no sistema. Esse esquema, por mais complexo que seja, permite que a alimentação e manutenção simultânea do sistema continue ativo enquanto a segurança e proteção não são afetadas.

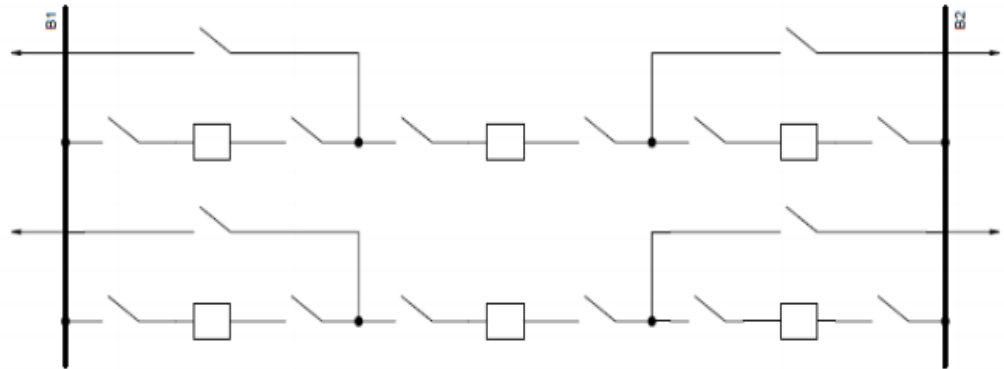
Figura 2.14 - Barramento simples mais barra de transferência, barramento duplo mais barra de transferência.



Fonte: Gonçalves (2012).

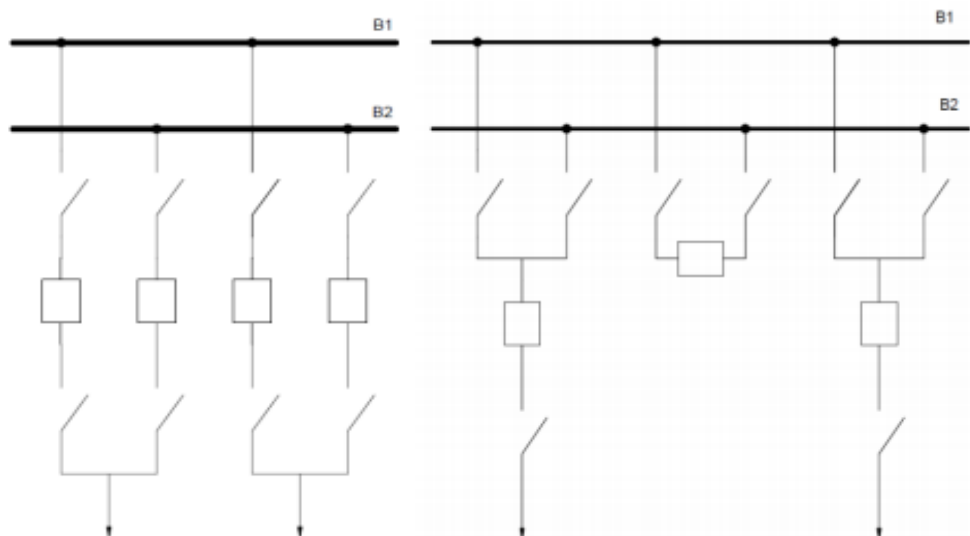
- **Barramento duplo** - caracterizada pela divisão dos circuitos em dois grupos de alimentação, os barramentos duplos são utilizados em subestações de grande porte, como em usinas geradoras e indústrias. Seu arranjo permite que as linhas sejam conectadas em qualquer um dos dois barramentos, garantindo uma flexibilidade ainda maior do que quando comparada com o modelo de duplo barramento simples, e também mais cara em detrimento dos disjuntores e chaves seccionadoras adicionais. Existe também a possibilidade da utilização do **barramento duplo com disjuntor duplo**, onde as barras são interligadas por meio de quatro chaves e dois disjuntores, garantindo ainda mais possibilidades de remanejamento do sistema. Além do modelo com disjuntor duplo, pode-se ainda ser utilizado um modo de três disjuntores para cada dois circuitos, conhecido como modelo de **barramento de disjuntor e meio**. Esses dois últimos modelos, representados nas Figuras a seguir, são mais abrangentes por conterem maiores possibilidades, mas em compensação são também mais caros, devido o maior número de equipamentos associados a eles.

Figura 2.15 - Barramento de disjuntor e meio. [13]



Fonte: Gonçalves (2012).

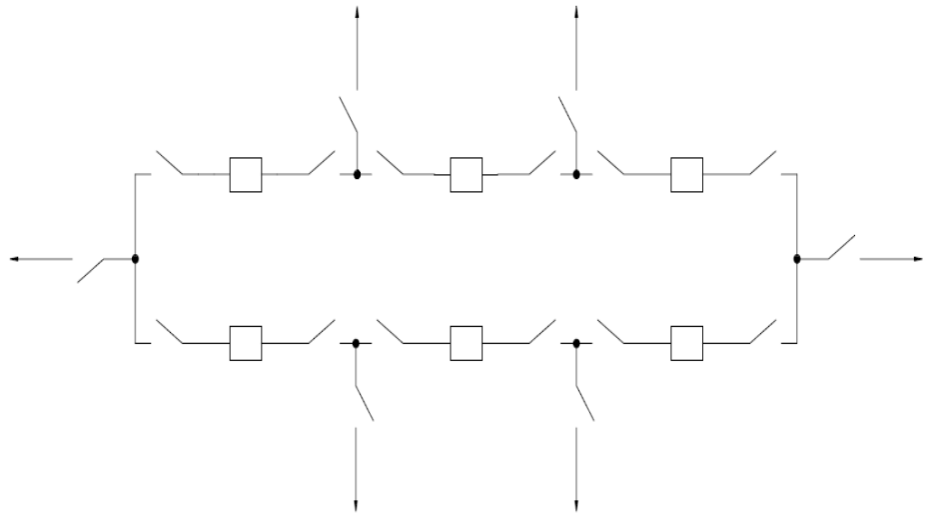
Figura 2.16 - Barramento duplo e barramento duplo com disjuntor duplo.



Fonte: Gonçalves (2012).

- **Barramento em anel** - subestações com configuração de barramento em anel tem a característica de disposição de seus equipamentos em forma de circuito fechado. Composto por um número de circuitos, disjuntores e seccionadores na ordem de $1x:1x:2x+1$, esses modelos apresentam um baixo custo associado a grande confiabilidade e flexibilidade por conta de sua simplicidade de operação. Em caso de defeito em qualquer disjuntor, sua retirada pode ser feita sem a interrupção de carga. Entretanto, nesse tipo de configuração a proteção será comprometida em caso de falha. A Figura 2.17 ilustra essa instalação.

Figura 2.17 - Barramento em anel.



Fonte: Jorge Paulino (2012).

- **Comparação de configurações** - a seguir, estão resumidos na tabela 2.5 os pontos de comparação entres os modelos citados acima.

Tabela 2.5 - Relações entre configurações de barramentos.

Configuração	Custo	Ocupação	Confiabilidade	Flexibilidade
Barramento simples	Menor	Menor	Muito baixa	Inexistente
Barramento auxiliar	Moderado	Pequena	Baixa	Moderada
Barramento duplo	Moderado	Moderada	Moderada	Boa
Barramento duplo com dois disjuntores	Elevado	Grande	Alta	Alta
Barramento de disjuntor e meio	Moderado/Elevado	Grande	Alta	Alta
Barramento em anel	Moderado	Moderada	Alta	Alta

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE PROJETO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA

3.1 Introdução

Assim como discutido no capítulo anterior, as subestações seguem diferentes padrões de construção com finalidades de operação diferentes, onde a formulação de seu projeto influenciará diretamente sobre sua escolha.

Quaisquer aplicações de projeto de subestação consumidora deve ser projetada por um profissional capacitado na área, obedecendo os aspectos gerais de segurança necessários para o pleno funcionamento do sistema, assim como garantindo o atendimento das necessidades energéticas do local. É de responsabilidade do projetista a emissão de ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) com intuito de declarar ao CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia) sobre sua responsabilidade pelo projeto. O mesmo deve ser feito por parte dos responsáveis pela instalação dos equipamentos e construção do sítio onde a SE será implantada.

O método de estabelecimento de uma nova SE deve ser iniciado com seu **planejamento**. Nessa etapa, deverá ser feita a análise de todas as cargas a serem alimentadas, levando em consideração a possibilidade de sua expansão. É importante também que os fatores econômicos e suas limitações façam parte do planejamento do sistema elétrico como um todo. Fatores como os tipos de carga, simultaneidade e possibilidade de expansão podem encarecer bastante o projeto de uma subestação.

Apesar de nesse estudo focarmos nos fatores elétricos da construção de uma subestação, o **projeto civil** está intrinsecamente ligado a ela. A forma como os equipamentos estão dispostos dentro dos limites da SE determinam diretamente os materiais e formas de construção a serem seguidos no sistema. Tal disposição dos equipamentos faz parte do escopo do **projeto eletromecânico**, baseado diretamente no diagrama unifilar da subestação. Nesse projeto são definidos, além de cálculos de aterramento e dimensionamento de condutores, a localização exata de todas as estruturas, bases e acessos para os equipamentos. Tal arranjo físico deve também conter especificação de cercas, portões e interligação de equipamento.

Além dos dois projetos anteriormente citados, a utilização de um **projeto de automação** se faz fundamental durante o planejamento de uma nova subestação. A maneira com a qual tal projeto é concebido se unifica com o **projeto elétrico**, visto que a sua principal função é garantir que o sistema exerça de maneira econômica e confiável todas suas incumbências quanto a proteção e controle da SE. Para que o projeto de automação seja executado, é primeiramente definido a o grau de proteção do sistema, determinando a maneira como a qual os sistemas da SE serão controlados.

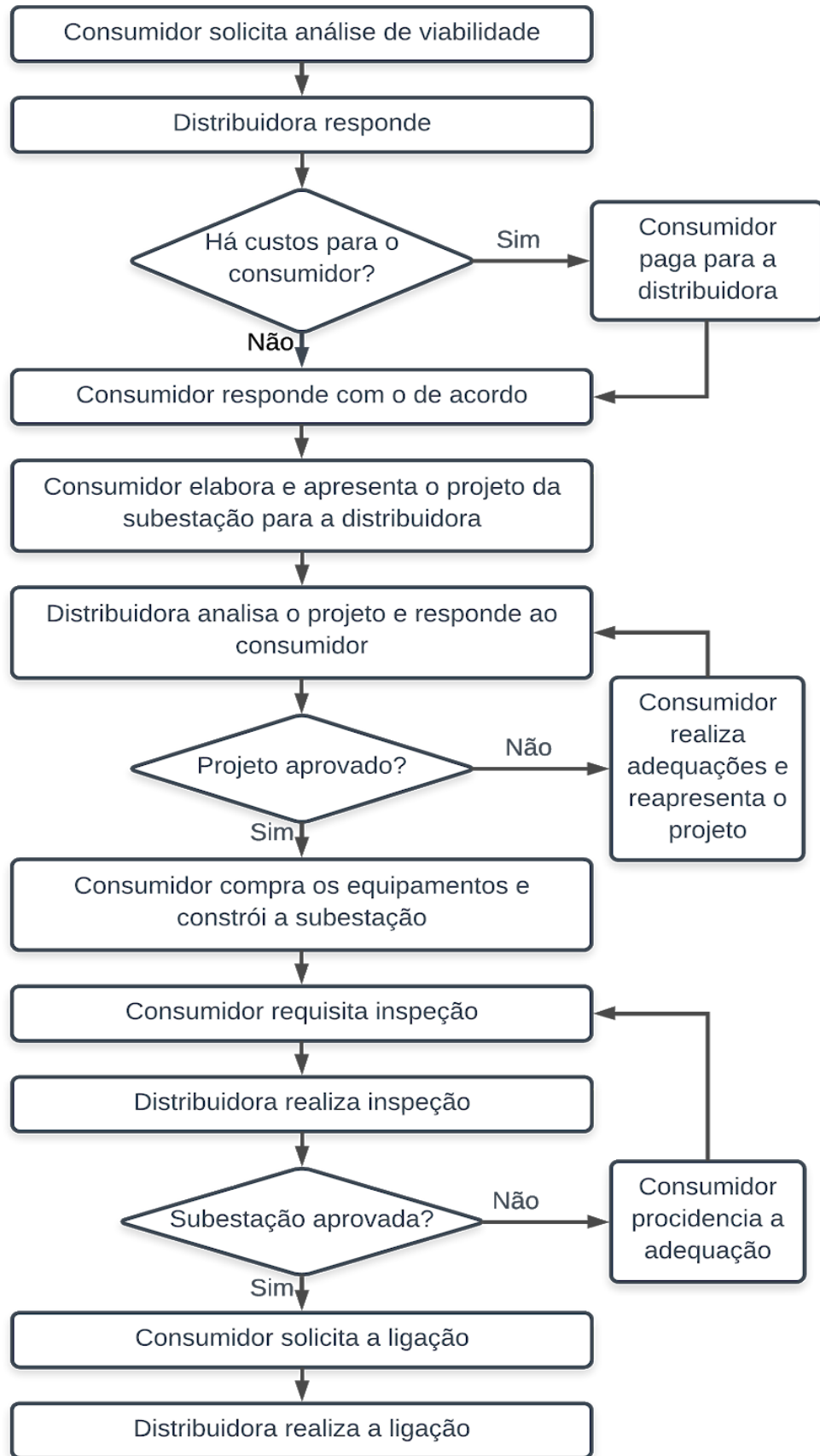
Após todas essas definições, é iniciado o **processo de compra** dos equipamentos e acessórios a serem utilizados nas instalações do sistema. Fatores como o modelo de barramento, nível de tensão e localização das SE influenciam diretamente nos custos da montagem. Todos os equipamentos devem vir com certificado de testes feitos por parte do fabricante, e essa documentação deve ficar localizado de forma que seu acesso seja acessível para os operadores locais.

Posteriormente, logo após a montagem, é necessária que sejam feitas as devidas conferências quanto a execução de projetos e bom funcionamento dos sistemas de segurança, assim como requisitos normativos e desempenho dos equipamentos de proteção, medição e manobra, caracterizando o **comissionamento** da subestação. Esses ensaios devem ser feitos com equipamento específicos para tal finalidade, e devem seguir padrões de resultado determinados pela fornecedora local de energia. Passando em todos os testes executados, o sistema está liberado para **energização**, procedimento executado na presença de todo o corpo técnico envolvido no projeto e execução da SE.

De maneira simplificada, o fluxograma mostrado na Figura 3.1 resume o processo de projeto de uma nova subestação, levando em consideração todos os passos citados anteriormente.

Com o intuito de facilitar o entendimento do dimensionamento de subestações, será feito, paralelamente a explicação, o estudo de cálculo de uma SE localizada em um edifício comercial na cidade de Fortaleza, Ceará, com características a serem apresentadas posteriormente.

Figura 3.1- Fluxograma para nova subestação.



Fonte: Adaptado McDonald (2006).

3.2 Determinação de Necessidade

A determinação da necessidade de instalação de uma SE deve partir dos parâmetros citados em normas, e, segundo a NT-C 002/2017 item 6.1, em anexo, há a necessidade da utilização de subestação para locais com potência instalada superior a 75 kW, com fornecimento em média tensão (13,8 kV) e demanda a ser contratada para fornecimento estiver compreendida entre 30 kW e 2.500 kW, também conforme resolução 414/ANEEL.

Logo, o primeiro passo para a elaboração de um projeto de subestação é o estudo de cargas e cálculo da demanda do local. No caso do edifício comercial em análise, temos:

3.2.1 Cálculo da Carga e Demanda Geral

Para tal cálculo, a norma técnica sugere a utilização da seguinte metodologia:

$$D = \left(\frac{0,77}{F_p}a + 0,7b + 0,95c + 0,59d + 1,2e + F + G\right) \text{ kVA} \quad (3.1)$$

D: demanda total da instalação, em kVA;

a: Potências para iluminação e tomadas de uso geral;

F_p: fator de potência da instalação de iluminação e tomadas. Seu valor é determinado em função do tipo de iluminação e reatores utilizados;

b: demanda de todos os aparelhos de aquecimento, em kW (chuveiro, aquecedores, fornos, fogões, etc.);

c: demanda de todos os aparelhos de ar condicionado, em kW;

d: potência nominal, em kW, das bombas d'água do sistema de serviço da instalação (não considerar bomba de reserva);

e: demanda de todos os elevadores, em kW;

F: demanda de motores levando em consideração a potência em cv (P_{nm}), fator de utilização (F_u) e simultaneidade (F_s), em kW;

$$F = \sum(0,87P_{nm} \times F_u \times F_s) \quad (3.2)$$

G: outras cargas não relacionadas em kVA (Neste caso o projetista deve estipular o fator de demanda característico das mesmas).

Tabela 3.1 - Demanda Geral.

QUADROS	POTÊNCIA	ILUM. /TUG	AQUEC	AR COND	BOMBAS	ELEV	OUTRAS
QL-C.DE MÁQ.	1.964W	1.964W					
QLF-8ºPAV	31.130W	31.130W					
QL-TIPO 7ºPAV	53.722W	53.722W					
QL-TIPO 6ºPAV	53.722W	53.722W					
QL-TIPO 5ºPAV	53.722W	53.722W					
QL-TIPO 4ºPAV	53.722W	53.722W					
QL-TIPO 3ºPAV	53.722W	53.722W					
QLF-2ºPAV	49.222W	49.222W					
QLF-TÉRREO	6.407W	6.407W					
QL-GUARITA	4.960W	4.960W					
QF-ESTAB-8ºPAV	19.800W	19.800W					
QF-ESTAB-7ºPAV	47.400W	47.400W					
QF-ESTAB-6ºPAV	47.400W	47.400W					
QF-ESTAB-5ºPAV	47.400W	47.400W					
QF-ESTAB-4ºPAV	47.400W	47.400W					
QF-ESTAB-3ºPAV	47.400W	47.400W					
QF-ESTAB-2ºPAV	46.200W	46.200W					
QB INCÊNDIO	5.152W				5.152W		
QB PRESS	1.104W				1.104W		
QB-REC/SUC	3.680W				3.680W		
QB-DREN	736W				736W		
QF ELEV. 1	7.360W					7.360W	
QF ELEV. 2	7.360W					7.360W	
QF ELEV. 3	7.360W					7.360W	
QFAC-1	27.540W			27.540W			
QFAC-2	26.060W			26.060W			
QFAC-3	32.080W			32.080W			
QFAC-4	35.800W			35.800W			
QFAC-5	26.060W			26.060W			
QFAC-6	26.620W			26.620W			
QFAC-7	35.800W			35.800W			
QFAC-8	26.060W			26.060W			
QFAC-9	26.620W			26.620W			
QFAC-10	35.800W			35.800W			
QFAC-11	26.060W			26.060W			
QFAC-12	26.620W			26.620W			
QFAC-13	35.800W			35.800W			
QFAC-14	26.060W			26.060W			
QFAC-15	26.620W			26.620W			
QFAC-16	35.800W			35.800W			
QFAC-17	26.060W			26.060W			
QFAC-18	26.620W			26.620W			
QFAC-19	21.640W			21.640W			
QFAC-20	25.070W			25.070W			
QFAC-21	28.260W			28.260W			
QFAC-22	46.480W			46.480W			
QGBT-3 (EXISTENTE)	300.000W						300.000W
SALA COFRE(PREV.)	60.000W						60.000W
TOTAL	1.707.575W	665.293W	0	875.655	10.672W	22.080W	360.000W

- Iluminação e Tomadas: 665.293W → FD: 100% 665.293VA
TOTAL “a”: 665.293VA
- Aquecimento: 0W
- Ar Condicionado: 875.655W → FD: 86% 753.063VA
TOTAL “c”: 753.063VA
- Motores Elétricos: 10.672W → FD: 100% 10.672VA
TOTAL “d”: 10.672VA
- Elevadores: 22.080W → FD: 65% 14.352VA
TOTAL “e”: 14.352VA
- Outras Cargas: 360.000W

Aplicando os valores obtidos na fórmula 3.1:

$$D = \left(\frac{0,77}{0,92}\right) \times 665,29 + 0,7 \times 0 + 0,95 \times 753,063 + 0,59 \times 10,67 + 1,2 \times 14,352 + 360) \text{ kVA} \quad (3.3)$$

$$D = (622,29 + 0 + 715,41 + 6,29 + 17,22 + 360) \text{ kVA} \quad (3.4)$$

$$D = 1.589,87 \text{ kVA} \quad (3.5)$$

Potência Instalada do QGBT:

1,70 MW

Potência Demandada do QGBT:

1,58 MVA

A partir do valor obtido no cálculo de demanda e carga instalada geral do edifício, o mesmo se encaixa como consumidor especial segundo limites de fornecimento estabelecidos em norma técnica da fornecedora local, a qual determina: “O fornecimento de energia elétrica a consumidor especial deve ser realizado em MT (13,8 kV) quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou maior a 500 kW e a demanda a ser contratada pelo consumidor, para fornecimento, estiver compreendida entre 500 kW e 2.500 kW, em qualquer segmento horossazonal” NT-C 002/2017.

3.2.2 Cálculo da Carga e Demanda dos QGBT

No local em questão, já existe um transformador de 300kVA alimentando cargas diversas, referente a um prédio em regime de operação. Para a carga restante, foram calculadas as demandas com divisão de acordo com a finalidade, ou seja, enquanto um dos transformadores alimentar os circuitos de ar condicionado, o outro atenderá os circuitos restantes, evitando assim um paralelismo dos transformadores.

Para o primeiro transformador, o qual alimentará iluminação, tomadas, bombas e elevadores, temos:

Tabela 3.2 - QGBT-1.

QUADROS	POTÊNCIA	CRITÉRIO						
		a	b	c	d	e	F	G
QL-C.DE MÁQ.	1.964W	1.964W						
QLF-8ºPAV	31.130W	31.130W						
QL-TIPO 7ºPAV	53.722W	53.722W						
QL-TIPO 6ºPAV	53.722W	53.722W						
QL-TIPO 5ºPAV	53.722W	53.722W						
QL-TIPO 4ºPAV	53.722W	53.722W						
QL-TIPO 3ºPAV	53.722W	53.722W						
QLF-2ºPAV	49.222W	49.222W						
QLF-TÉRREO	6.407W	6.407W						
QL-GUARITA	4.960W	4.960W						
QF-ESTAB-8ºPAV	19.800W	19.800W						
QF-ESTAB-7ºPAV	47.400W	47.400W						
QF-ESTAB-6ºPAV	47.400W	47.400W						
QF-ESTAB-5ºPAV	47.400W	47.400W						
QF-ESTAB-4ºPAV	47.400W	47.400W						
QF-ESTAB-3ºPAV	47.400W	47.400W						
QF-ESTAB-2ºPAV	46.200W	46.200W						
QB_INCÊNDIO	5.152W				5.152W			
QB_PRESS	1.104W				1.104W			
QB-REC/SUC	3.680W				3.680W			
QB-DREN	736W				736W			
QF_ELEV. 1	7.360W					7.360W		
QF_ELEV. 2	7.360W					7.360W		
QF_ELEV. 3	7.360W					7.360W		
SALA COFRE								60000W
TOTAL	758.045	665.293W	0	0	10.672W	22.080W	0	60.000W

- Iluminação e Tomadas: 665.293W → FD: 100% 665.293VA
TOTAL “a”: 665.293VA
- Aquecimento: 0W
- Ar Condicionado: 0W
- Motores Elétricos: 10.672W → FD: 100% 10.672VA
TOTAL “d”: 10.672VA
- Elevadores: 22.080W → FD: 65% 14.352VA
TOTAL “e”: 14.352VA
- Outras Cargas: 60.000W

Aplicando os valores obtidos na fórmula 3.1:

$$D = \left(\frac{0,77}{0,92} \times 665.293 + 0,7 \times 0 + 0,95 \times 0 + 0,59 \times 10.672 + 1,2 \times 14.352 + 60.000\right) \text{ kVA} \quad (3.6)$$

$$D = (556.821,32 + 0 + 6.296,48 + 17222,40 + 60.000) \text{ kVA} \quad (3.7)$$

$$D = 640.340,20 \text{ kVA} \quad (3.8)$$

Potência Instalada do QGBT-1: 758,045KW

Potência Demandada do QGBT-1: 640,340KVA

De maneira similar, para o segundo:

Tabela 3.3 - QGBT-2.

QUADROS	POTÊNCIA	CRITÉRIO						
		a	b	c	d	e	F	G
QFAC-1	27.540W			27.540W				
QFAC-2	26.060W			26.060W				
QFAC-3	32.080W			32.080W				
QFAC-4	35.800W			35.800W				
QFAC-5	26.060W			26.060W				
QFAC-6	26.620W			26.620W				
QFAC-7	35.800W			35.800W				
QFAC-8	26.060W			26.060W				
QFAC-9	26.620W			26.620W				
QFAC-10	35.800W			35.800W				
QFAC-11	26.060W			26.060W				
QFAC-12	26.620W			26.620W				
QFAC-13	35.800W			35.800W				
QFAC-14	26.060W			26.060W				
QFAC-15	26.620W			26.620W				
QFAC-16	35.800W			35.800W				
QFAC-17	26.060W			26.060W				
QFAC-18	26.620W			26.620W				
QFAC-19	21.640W			21.640W				
QFAC-20	25.070W			25.070W				
QFAC-21	28.260W			28.260W				
QFAC-22	46.480W			46.480W				
TOTAL	875.655	0	0	875.655	0	0	0	0

- Iluminação e Tomadas: 0W
- Aquecimento: 0W
- Ar Condicionado: 875.655W → FD: 86%;FP: 85% 634.157VA
TOTAL “c”: 634.157VA
- Motores Elétricos: 0W

- Elevadores: 0W
- Outras Cargas: 0W

Aplicando os valores obtidos na fórmula 3.1:

$$D = \left(\frac{0,77}{0,92} \times 0 + 0,7 \times 0 + 0,95 \times 634.157 + 0,59 \times 0 + 1,2 \times 0 + 0 \right) \text{ kVA} \quad (3.9)$$

$$D = 602,45 \text{ kVA} \quad (3.10)$$

Potência Instalada do QGBT-2: 875,655KW

Potência Demandada do QGBT-2: 602,450KVA

Com isso, foram adotados dois transformadores de 750 kVA, além do transformador de 300kVA responsável por alimentar as cargas atuais. A partir dessas informações, podemos afirmar a necessidade de uma subestação para fazer o atendimento do cliente de forma adequada.

3.3 Localização e Modelo da SE

Após a determinação de cargas e demanda do local consumidor, deve-se definir como essa subestação será feita e onde ela será instalada.

Claramente, a adição de uma grande demanda de carga impactará o serviço de fornecimento da concessionária, logo, é necessária a verificação das possíveis alterações que esse novo ponto consumidor vai causar no SEP, através do estudo das correntes nominais e de curto-circuito, fator de potência, fluxo de potência e outros fatores.

Com base na avaliação do sistema e suas limitações, assim como análise do local disponível para instalação e montagem eletromecânica da subestação, o projetista poderá definir uma configuração básica para a subestação, facilitando os procedimentos a vir.

Durante a escolha do local de construção da SE, é preciso levar em consideração a distância para o centro de carga, assim como a acessibilidade para manutenções, infra-estrutura disponível e segurança do local. Fatores como resistividade e características mecânicas do solo também devem ser bem analisadas, itens que influenciam diretamente nos custos de construção.

No caso de subestações abrigadas, todos os compartimentos devem ter a utilização exclusiva à instalação de equipamentos referentes a finalidade da SE em questão, não sendo permitida a instalação de quaisquer outras instalações não destinadas a eletricidade.

As características mais detalhadas sobre a construção civil podem ser encontrada na norma técnica do local de referência, no caso da Enel as considerações são feitas em NT-002/2017.

Quanto ao projeto em estudo temos:

3.4 Características Básicas da SE

A referida SE tem como finalidade suprir todas as cargas elétricas do edifício comercial localizado na rua Dona Leopoldina, em Fortaleza, Ceará. A mesma utilizará dois trafos a seco de 750kVA, um responsável pela alimentação dos ar condicionados e o outro encarregado de todas as cargas restantes; e um outro transformador também a seco já existente de 300kVA, encubido das potências já instaladas no local.

A entrada será feita por meio subterrâneo, pela média tensão 13,8 kV da Enel. Sua construção será do tipo abrigada, onde todos os equipamentos estão dentro dos limites da propriedade e localizados em um espaço destinado para essa finalidade, no andar térreo do prédio, com sua construção feita em alvenaria.

O edifício também conta com a instalação de um grupo gerador *stand-by* de 750 kVA, autonomia de duas horas, dimensionado a partir das cargas prioritárias definidas durante reunião com o cliente. O gerador não efetuará paralelismo com a concessionária em hipótese alguma e nem carga em rampa.

3.5 Avaliação do Modelo

Após a realização da determinação de necessidade da construção de uma subestação, assim como a definição de sua localização e tipo, deve-se verificar se a solução encontrada é satisfatória. Em alguns casos, os primeiros resultados não agradam todas as partes envolvidas. sendo assim necessária uma nova avaliação dos itens.

Com isso, é possível seguir para a especificação dos equipamentos que compõem o sistema.

3.6 Especificação de Equipamentos

Em posse do esquema básico, do parecer de acesso e das predefinições da SE, deve-se iniciar efetivamente o processo de cálculo das especificações dos aparelhos. Para isso, será utilizada a subestação citada anteriormente como exemplo, com intuito de facilitar o entendimento do processo.

3.6.1 Estudo de Proteção

Um sistema de proteção tem como objetivo três principais fatores: proteção completa do sistema como um todo para garantir continuidade de fornecimento; minimização dos danos e custos de reparo onde a falta for detectada; e garantir segurança dos envolvidos. Esses pontos devem ser obedecidos primeiramente para uma detecção e localização rápida da falta, e secundamente para efetuar o desligamento dos equipamentos relacionados a falha.

Para que isso aconteça, a proteção deve ser feita de maneira: seletiva, para detectar e isolar apenas o item responsável pela falta; estável, garantindo que os circuitos não atingidos mantenham seu funcionamento e continuidade; sensível, para detectar até mesmo a menor falha, ou anormalidade, e operar de maneira correta antes que danos irreparáveis sejam causados; e veloz, operando de maneira rápida, minimizando danos ao sistema.

De forma resumida (Hewitson et al.,2004):

Tabela 3.2 - Estudo de Proteção.

Principais Funções
<ul style="list-style-type: none">● Proteger o sistema como um todo para manter continuidade de fornecimento.● Minimizar danos e custos de reparo.● Assegurar proteção de pessoas.

Requerimentos Básicos
<ul style="list-style-type: none">● Seletividade: Detectar e isolar apenas o setor faltoso.● Estabilidade: Deixar intacto todos os circuitos não atingidos, garantindo continuidade de fornecimento.● Velocidade: Operar de maneira o mais rápido possível quando a falha for detectada.● Sensibilidade: Detectar anormalidades até mesmo das menores escalas.

Importância da Velocidade
<p>O sistema de proteção deve ser rápido para prevenir:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Aumento do dano no local de falta. Energia de falta = $I^2 \times R_f \times t$, onde t é o tempo em segundos. ● Riscos para o operador local. ● Focos de incêndio. ● Aumento da probabilidade de falta de aterramento nas fases em pleno funcionamento. ● Crescimento do estresse térmico e mecânico de todos os itens componentes do sistema, particularmente dos transformadores, que já sofrem de grandes desgastes por conta das grandes forças eletromecânicas.

Qualidades do Sistema de Proteção
<ul style="list-style-type: none"> ● Seguro: Deve agir quando necessário. ● Confiável: Não deve agir quando não é necessário.

Componentes Básicos
<ul style="list-style-type: none"> ● Transformadores de corrente e potência: Para monitorar e fornecer dados confiáveis para o monitoramento do sistema. ● Relés: Convertem os sinais dos equipamentos de monitoramento e dão instruções para abrir um circuito faltoso, ou alarmam quando um equipamento está sendo danificado. ● Fusíveis: Equipamentos auto-destrutivos que rompem sua condução quando uma carga acima da sua especificação é requerida. ● Disjuntores: Além de equipamento de manobra, deve conduzir por um período de tempo específico sobrecorrentes e interromper correntes sob condições anormais de uso do sistema, como as correntes de curto-circuito. ● Baterias: Fornecem energia de forma independente para os relés e equipamentos associados em caso de falta da fonte de alimentação principal.

3.6.1.1 Dimensionamento das Proteções Gerais

A especificação das proteções de média são dadas a partir de:

- QGBT-1 e QGBT-2

Considerando trafo de 750 kVA para cada um dos QGBTs, teremos, para cada um:

$$I_D = \frac{D}{\sqrt{3} \times 380} \quad (3.11)$$

$$I_D = \frac{750000}{\sqrt{3} \times 380} = 1139,82A$$

(3.12)

$$I_D = 1139,82 A \quad (3.13)$$

Proteção por QGBT: 1.200A

Condutor por QGBT: 4(3x240+240+T240)mm² XLPE

- QGBT-3

Considerando trafo existente de 300 kVA para o QGBT-3, teremos:

$$I_D = \frac{D}{\sqrt{3} \times 380} \quad (3.14)$$

$$I_D = \frac{300000}{\sqrt{3} \times 380} = 787,40A$$

(3.15)

$$I_D = 787,40 A \quad (3.16)$$

Proteção por QGBT: 800A

Condutor por QGBT: 3(3x185+185+T185)mm² (0,6/1kV)

3.6.1.2 Cálculos de Coordenação e Seletividade

Para demonstração dos cálculos a seguir, será adotada a mesma subestação composta por dois transformadores a seco de 750 kVA e um também a seco de 300 kVA previamente em estudo.

3.6.1.3 Dados Fornecidos Pela Concessionária

No anexo disponível em ao final, a concessionária responsável informou a topologia e parâmetros da rede de distribuição de média tensão até o ponto de conexão, assim como impedância reduzida na barra de 15 kV da SE ENEL em por unidade (pu)

- Subestação: MAGUARY
- Alimentador: 01Y5
- Ponto de Conexão A19E-1163 / A19E-1313
- Sequência Positiva: $Z_{us} = 0,0095 + j0,7183$
- Sequência Zero: $Z_{u0s} = 0,0000 + j0,6575$

Onde os valores base para o cálculo dos parâmetros em por unidade (pu) são:

- Potência de Base: $P_b = 100 MVA$

- Tensão de Base: $V_b = 13,8 \text{ kV}$

Tabela 3.4 - Parâmetros concessionária.

TRECHO	CONDUTOR	EXTENSÃO	IMPEDÂNCIA CONDUTOR EM OHM/KM			
			POSITIVA		ZERO	
			R1	X1	R0	X0
1	Spacer 185mm ²	1,54km	0,1640	0,2522	0,3418	2,1701
2	Cobre 2/0 AWG	0,295km	0,2987	0,4204	26.060W	1,9446
3	Cobre 95mm ²	0,802km	0,2231	0,4040	32.080W	1,9282

3.6.1.4 Metodologia para Cálculo de Curto-Circuito

O curto-circuito ocorre quando uma resistência muito baixa, ou contato, surge em uma fonte de alimentação de um dado circuito da instalação, das seguintes formas: fase-fase, fase-neutro ou fase-terra. Quando essa ligação acontece e o sistema não está devidamente protegido, a corrente se eleva na ordem de centenas ou milhares de vezes da corrente normal de operação, causando danos aos componentes da subestação. Esses danos, por sua vez, ocorrem por conta do dimensionamento do cabo não ter sido feito para operar com correntes tão elevadas, e sim correntes de regime nominais.

Assim como definido anteriormente, o sistema base em por unidade a ser utilizado para o cálculo das correntes de curto-circuito são:

- **Potência de Base:** $P_b = 100 \text{ MVA}$
- **Tensão de Base:** $V_b = 13,8 \text{ kV}$
- **Corrente de Base:**

$$I_b = \frac{P_b}{(\sqrt{3} \times V_b)} \quad (3.17)$$

$$I_b = \frac{100000000}{(\sqrt{3} \times 13800)} \quad (3.18)$$

$$I_b = 4183,8203A \quad (3.19)$$

- **Impedância de Base:**

$$Z_b = \frac{(V_b)^2}{P_b} \quad (3.20)$$

$$Z_b = \frac{13800^2}{100000000} \quad (3.21)$$

$$I_b = 1,9044\Omega \quad (3.22)$$

- **Impedância de Base:**

$$Z_b = \frac{(V_b)^2}{P_b} \quad (3.23)$$

$$Z_b = \frac{13800^2}{100000000} \quad (3.24)$$

$$I_b = 1,9044\Omega \quad (3.25)$$

- **Conversão da impedância em Ohms por unidade na base do sistema:**

$$Z_{PU} = \frac{(R_{(Ohms/km)} + j \times X_{(Ohms/km)}) \times L_{(km)}}{Z_b} \quad (3.26)$$

- **Correntes de Curto-circuito no Ponto de Entrega do Cliente:**

- Curto-circuito Trifásico:

$$I_{cc3\phi Pta} = \frac{I_b}{|Z_{UPta(+)}|} \quad (3.27)$$

- Curto-circuito Bifásico:

$$I_{cc2\phi Pta} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{cc3\phi Pta} \quad (3.28)$$

- Curto-circuito Fase-Terra:

$$I_{cc1\phi Pta} = \frac{3 \times I_b}{|2 \times Z_{UPta(+)} + Z_{UPta(0)}|} \quad (3.29)$$

- Curto-circuito Fase-Terra Mínimo:

$$I_{cc1\phi Pta-min} = \frac{3 \times I_b}{|2 \times Z_{UPta(+)} + Z_{UPta(0)} + Z_c|} \quad (3.30)$$

Em que:

$Z_{UPta(+)}$:Impedância total equivalente de sequência positiva do sistema até o ponto de entrega do Cliente.

$Z_{UPta(0)}$:Impedância total equivalente de sequência zero do sistema até o ponto de entrega do Cliente.

Z_c : Impedância de contato (a ENEL utiliza 100 Ω) em pu.

3.6.1.5 Cálculo das Impedâncias dos Condutores da Rede de Distribuição

De posse do valor da impedância reduzida na barra de 15 kV da SE Enel, apresentada no subtópico 3.5.1.2, podemos calcular a impedância dos condutores da rede de distribuição da concessionária através das fórmulas apresentadas em 3.5.1.3.

- Impedância do Condutor 1 da Rede:

- Sequência Positiva C1:

$$Z_{UC1} = \frac{(0,1640+j \times 0,2522) \times 1,54}{1,9044} \quad (3.31)$$

$$Z_{UC1} = 0,1326 + j \times 0,2039 \text{ pu} \quad (3.32)$$

- Sequência Zero C1:

$$Z_{UC1} = \frac{(0,3418+j \times 2,1701) \times 1,54}{1,9044} \quad (3.33)$$

$$Z_{UC1} = 0,2764 + j \times 1,7549 \text{ pu} \quad (3.34)$$

- Impedância do Condutor 2 da Rede:

- Sequência Positiva C2:

$$Z_{UC1} = \frac{(0,2987+j \times 0,4204) \times 0,2950}{1,9044} \quad (3.35)$$

$$Z_{UC1} = 0,0463 + j \times 0,0651 \text{ pu} \quad (3.36)$$

- Sequência Zero C2:

$$Z_{UC1} = \frac{(0,4765+j \times 1,9446) \times 0,2950}{1,9044} \quad (3.37)$$

$$Z_{UC1} = 0,0738 + j \times 0,3012 \text{ pu} \quad (3.38)$$

- Impedância do Condutor 3 da Rede:

- Sequência Positiva C3:

$$Z_{UC1} = \frac{(0,2231+j \times 0,4040) \times 0,8020}{1,9044} \quad (3.39)$$

$$Z_{UC1} = 0,0940 + j \times 0,1701 \text{ pu} \quad (3.40)$$

- Sequência Zero C3:

$$Z_{UC1} = \frac{(0,3991+j \times 1,9282) \times 0,8020}{1,9044} \quad (3.41)$$

$$Z_{UC1} = 0,1681 + j \times 0,8120 \text{ pu} \quad (3.42)$$

- **Impedância Total de Sequência Positiva:**

$$Z_{UPta(+)} = Z_{US} + Z_{UC1} + Z_{UC2} + Z_{UC3} \quad (3.43)$$

$$Z_{UPta(+)} = \sum R_{TOTAL(+)} + j \times \sum X_{TOTAL(+)} \quad (3.44)$$

$$Z_{UPta(+)} = 0,2823 + j \times 1,1575 \text{ pu} \quad (3.45)$$

- **Impedância Total de Sequência Zero:**

$$Z_{UPta(0)} = Z_{US} + Z_{UC1} + Z_{UC2} + Z_{UC3} \quad (3.46)$$

$$Z_{UPta(0)} = \sum R_{TOTAL(0)} + j \times \sum X_{TOTAL(0)} \quad (3.47)$$

$$Z_{UPta(0)} = 0,5183 + j \times 3,5256 \text{ pu} \quad (3.48)$$

- **Impedância de Contato:**

$$Z_C = \frac{Z_{\Omega}}{Z_b} \quad (3.49)$$

$$Z_C = \frac{100}{1,9044} \quad (3.50)$$

$$Z_C = 52,51 \text{ pu} \quad (3.51)$$

3.6.1.6 Cálculo das Correntes de Curto-Circuito no Ponto de Entrega

Para permitir os ajustes do relé, necessitamos realizar cálculos de curto-circuito, e assim como no item anterior, serão utilizadas as fórmulas expostas em 3.5.1.3 para cálculo das correntes de curto-circuito no ponto de entrega da concessionária.

- **Curto-circuito Trifásico:**

$$I_{cc3\phi Pta} = \frac{I_b}{|Z_{UPta(+)}|} \quad (3.52)$$

$$I_{cc3\phi Pta} = \frac{4183,82}{1,191} \quad (3.53)$$

$$I_{cc3\phi Pta} = 3511,5704 \text{ A} \quad (3.54)$$

- **Curto-circuito Bifásico:**

$$I_{cc2\phi Pta} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{cc3\phi Pta} \quad (3.55)$$

$$I_{cc2\phi Pta} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 3511,5704 \quad (3.56)$$

$$I_{cc2\phi Pta} = 3041,0200 \text{ A} \quad (3.57)$$

- **Curto-circuito Fase-Terra:**

$$I_{cc1\phi Pta} = \frac{3 \times I_b}{|2 \times Z_{UPta(+)} + Z_{UPta(0)}|} \quad (3.58)$$

$$I_{cc1\phi Pta} = \frac{3 \times 4183,8203}{|1,0830 + j \times 5,8406|} \quad (3.59)$$

$$I_{cc1\phi Pta} = 2112,9819 \text{ A} \quad (3.60)$$

- **Curto-circuito Fase-Terra Mínimo:**

$$I_{cc1\phi Pta-min} = \frac{3 \times I_b}{|2 \times Z_{UPta(+)} + Z_{UPta(0)} + Z_c|} \quad (3.61)$$

$$I_{cc1\phi Pta-min} = \frac{3 \times 4183,8203}{|158,6129 + j \times 5,8406|} \quad (3.62)$$

$$I_{cc1\phi Pta-min} = 79,0791 \text{ A} \quad (3.63)$$

3.6.1.7 Ajuste do Relé

Definido anteriormente como um dos principais equipamentos de proteção de uma subestação, o relé tem seus parâmetros definidos a partir dos cálculos de potência, curto-circuito e impedância calculados previamente. Cada instalação utiliza o relé mais apropriado para o seu caso, e na SE utilizada como exemplo foi utilizado o equipamento fabricado pela Schneider, de modelo SEPAM S20, e seu manual descritivo pode ser observado em anexo.

3.6.1.7.1 Dimensionamento dos TCs

A partir do valor obtido na maior relação de transformação por meio do critério de saturação do curto-circuito máximo constatado no sistema contendo o TC, assim como o critério da tensão de saturação determinaram o dimensionamento do TC.

- **Cálculo da Corrente Primária Nominal:**

$$I_N = \frac{Pot_{trafo}}{\sqrt{3} \times V} \quad (3.64)$$

$$I_N = \frac{1800000}{\sqrt{3} \times 13800} \quad (3.65)$$

$$I_N = 75,31 A \quad (3.66)$$

- Critério de Curto-Circuito

A classe de exatidão limita a máxima corrente de curto-circuito, como temos FS=20, a corrente de curto-circuito deve ser menor do que vinte vezes a corrente primária nominal dos TCs para que suas características de medição sejam preservadas. Nesse caso, o projetista adotou RTC=60 ou seja 300/5.

$$I_{\text{primario-TC}} \geq \frac{I_{\text{cc-max}}}{FS} \quad (3.67)$$

$$I_{\text{primario-TC}} \geq \frac{3511,57}{20} \quad (3.68)$$

$$I_{\text{primario-TC}} \geq 175,58 A \quad (3.69)$$

- Critério da Tensão de Saturação

Temos que:

$$F > F' \quad (3.70)$$

Onde:

$$F = \frac{20 \times (P_0 + P_i)}{P_R + P_i} \quad (3.71)$$

$$F' = \frac{I_{\text{cc-max}}}{I_{\text{primario-TC}}} \quad (3.72)$$

$$P_0 = \frac{V_{\text{sat}} \times I_{\text{secundario-TC}}}{20} \quad (3.73)$$

$$P_i = 0,2 \times P_o \quad (3.74)$$

$$P_R = (Z_{TC} + Z_{\text{fiação}} + Z_{\text{relé}}) \times (I_{\text{secundario-TC}})^2 \quad (3.75)$$

A partir do manual do relé, é estabelecido seu valor de impedância como 0,020 ohms. Quanto a impedância do TC, classe de exatidão 10B100 e RTC anteriormente definido como 300/5, seu valor é dado como 0,167 ohms. O valor da impedância da fiação será desprezado, pois trata-se de um condutor de cobre de quatro milímetros quadrados com tamanho inferior a dois metros. Aplicando esses valores nas fórmulas a caput, temos:

$$P_0 = \frac{100 \times 5}{20} \quad (3.76)$$

$$P_0 = 25 VA \quad (3.77)$$

$$P_i = 0,2 \times 25 \quad (3.78)$$

$$P_i = 5 \text{ VA} \quad (3.79)$$

$$P_R = (0,167 + 0 + 0,20) \times (5)^2 \quad (3.80)$$

$$P_R = 62,08 \quad (3.81)$$

Então:

$$F = \frac{20 \times (25+5)}{4,665+5} \quad (3.82)$$

$$F = 62,08 \quad (3.83)$$

E:

$$F' = \frac{5511,57}{300} \quad (3.84)$$

$$F' = 11,71 \quad (3.85)$$

Logo, a condição feita em 3.64 foi satisfeita, assegurando que a relação de 300/5 não irá saturar o TC.

3.6.1.7.2 Cálculo dos Tapes do Relé

- Fase

Será adotado o fator de sobrecarga de 1,3, então temos:

$$I_{sobrecarga-fase} = F S \times I_n \quad (3.85)$$

$$I_{sobrecarga-fase} = 1,3 \times 75,31 \quad (3.86)$$

$$I_{sobrecarga-fase} = 97,90 \text{ A} \quad (3.87)$$

$$TAP E_{fase} \leq \frac{I_{sobrecarga-fase}}{RTC} \quad (3.88)$$

$$TAP E_{fase} \leq \frac{97,9}{60} \quad (3.89)$$

$$TAP E_{fase} \leq 1,632 \text{ A} \quad (3.90)$$

$$I_{pickup-fase} = TAP E_{fase} \times RTC \quad (3.91)$$

$$I_{pickup-fase} = 1,632 \times 60 \quad (3.92)$$

$$I_{pickup-fase} = 97,92 \text{ A} \quad (3.93)$$

- **Neutro**

Será adotado o fator de desequilíbrio de 0,2, e, utilizando as mesma fórmulas na fase, com mudança para o neutro, temos que o valor da corrente de desequilíbrio seja menor do que a corrente de pickup:

$$I_{desequilíbrio-neutro} = FD \times I_n \quad (3.94)$$

$$I_{desequilíbrio-neutro} = 0,2 \times 75,31 \quad (3.95)$$

$$I_{desequilíbrio-neutro} = 15,1 \text{ A} \quad (3.96)$$

$$TAP E_{neutro} \leq \frac{I_{desequilíbrio-neutro}}{RTC} \quad (3.97)$$

$$TAP E_{neutro} \leq \frac{15,1}{60} \quad (3.98)$$

$$TAP E_{neutro} \leq 0,258 \text{ A} \quad (3.99)$$

$$I_{pickup-neutro} = TAP E_{neutro} \times RTC \quad (3.100)$$

$$I_{pickup-neutro} = 0,258 \times 60 \quad (3.101)$$

$$I_{pickup-neutro} = 15,60 \text{ A} \quad (3.102)$$

3.6.1.7.3 Dial de Tempo

- **Dados da Concessionária**

Para facilitar a visualização dos ajustes da proteção do alimentador fornecido pela concessionária, os valores da tabela e observações, assim como valores calculados em anexo foram transcritos a seguir:

Tabela 3.5 - Ajustes da proteção - concessionária.

TENSÃO	RTC	PICKUP	ANSI	PROTEÇÃO	TAPE	CURVA	INST.
13,8kV	800/5 160	600 INST=3000	50/51	FASE	3,75	0,07	18,75 T=0,1
		24 INST=1000	50N/51N	NEUTRO	0,15	0,86	6,25 T=0,15

- **Observações:**

- Se: $\frac{I_{cc}}{I_{ref>}} \leq 1,1 \rightarrow$ Relé não opera
- Se: $\frac{I_{cc}}{I_{ref>}} \geq 40 \rightarrow$ Calcular o tempo usando o múltiplo $\frac{I_{cc}}{I_{ref>}} = 30$ e considerar o tempo real menor que o valor calculado.

- **Curvas:**

- Fase: $k=13,5 \therefore a=1$
- Neutro: $k=13,5 \therefore a=1$

- **Tempo de Operação Fase:**

$$M = \frac{I_{cc3\phi P1a}}{I_{pickup-fase}} = \frac{3511,57}{600} = 5,85 \text{ A} \quad (3.103)$$

$$t_{fase} = \frac{k \times dt}{M^a - 1} = \frac{13,50 \times 0,07}{5,85^1 - 1} = 0,1947 \text{ s} \quad (3.104)$$

- **Tempo de Operação Neutro:**

$$M = \frac{I_{cc1\phi P1a}}{I_{pickup-neutro}} = \frac{79,08}{24} = 3,295 \text{ A} \quad (3.105)$$

$$t_{fase} = \frac{k \times dt}{M^a - 1} = \frac{13,50 \times 0,86}{3,29^1 - 1} = 5,0589 \text{ s} \quad (3.106)$$

De posse desses dados, e considerando o tempo de atuação do relé de fase como $t=0,05s$, podemos dar início no ajuste do dial de tempo da SE de forma que a condição de tempo de atuação de fase do cliente seja menor ou igual ao tempo de atuação de fase da concessionária.

$$M = \frac{I_{cc3\phi P1a}}{I_{pickup-fase}} = \frac{3511,57}{97,92} = 36,58 \text{ A} \quad (3.107)$$

Utilizando a fórmula 3.92 para determinação do 'dt', temos:

$$dt_{fase} = \frac{t_{fase} \times (M^a - 1)}{k} = \frac{0,05 \times (36,58^1 - 1)}{13,5} = 0,1318 \text{ s} \quad (3.108)$$

$$dt_{fase} = 0,10 \text{ s (adotado)} \quad (3.109)$$

$$t_{fase} = \frac{k \times dt}{M^a - 1} = \frac{13,50 \times 0,10}{36,58 - 1} = 0,0379 \text{ s} \quad (3.110)$$

De maneira semelhante, as maneiras de cálculo podem ser aplicadas ao dial de neutro:

$$M = \frac{I_{cc1\Phi Pta-min}}{I_{pickup-neutro}} \quad (3.111)$$

$$M = \frac{79,08}{15,6} = 5,07 \text{ A} \quad (3.112)$$

$$dt_{neutro} = \frac{t_{neutro} \times (M^a - 1)}{k} \quad (3.113)$$

$$dt_{neutro} = \frac{0,05 \times (36,58^1 - 1)}{13,5} = 0,1318 \text{ s} \quad (3.114)$$

$$dt_{fase} = 0,1 \text{ s (adotado)} \quad (3.115)$$

$$t_{neutro} = \frac{k \times dt}{M^a - 1} = \frac{13,50 \times 0,10}{5,069^1 - 1} = 0,3319 \text{ s} \quad (3.116)$$

3.6.1.7.3 Ajuste de Função 50/50N

Assim como comentando anteriormente, a função 50/51 e 50N/51N fazem parte das proteções instantâneas de sobrecorrente do relé. Elas trabalham com dois ajustes relacionados a um tempo previamente definido ou instantaneamente, ou seja, de forma definida pelo tempo de atuação ou corrente mínima.

Para determinar os parâmetros de ajuste do relé quanto a sua função de sobrecorrente, precisamos determinar a corrente de magnetização do transformador utilizado. No caso analisado, utilizamos um transformador com potência menor do que 2000kVA, com isso podemos utilizar a relação que determina, em transformadores a seco com tempo de duração da ordem de 0,1s:

$$\sum I_{inrush} = 14 \times (I_1 + I_2 + I_3) \quad (3.117)$$

Onde:

I_1 : Corrente nominal do transformador = 750 kVA.

I_2 : Corrente nominal do transformador = 750 kVA.

I_3 : Corrente nominal do transformador = 300 kVA.

$$\sum I_{inrush} = 14 \times \left(\frac{750000}{\sqrt{3} \times 13800} + \frac{750000}{\sqrt{3} \times 13800} + \frac{300000}{\sqrt{3} \times 13800} \right) = 1054,32 \text{ A} \quad (3.118)$$

$$Z_{inrush} = \left(\frac{13800}{\sqrt{3} \times \sum I_{inrush}} \right) \quad (3.119)$$

$$Z_{inrush} = \left(\frac{13800}{\sqrt{3} \times 1054,32} \right) = 7,5571 \text{ } \Omega \quad (3.120)$$

$$Z_{sistema} = \left(\frac{13800}{\sqrt{3} \times I_{cc3\phi Pta}} \right) \quad (3.121)$$

$$Z_{sistema} = \left(\frac{13800}{\sqrt{3} \times 3511,57} \right) = 2,2690 \, \Omega \quad (3.122)$$

$$Z_{total} = Z_{inrush} + Z_{sistema} \quad (3.123)$$

$$Z_{total} = 7,5571 + 2,2690 = 9,8261 \, \Omega \quad (3.124)$$

A partir da impedância total do sistema com os transformadores, podemos calcular a corrente de inrush total da instalação, dado por:

$$I_{inrush-real} = \left(\frac{13800}{\sqrt{3} \times Z_{total}} \right) \quad (3.125)$$

$$I_{inrush-real} = \left(\frac{13800}{\sqrt{3} \times 9,8261} \right) = 810,87 \, A \quad (3.126)$$

O relé, neste caso, será parametrizado para um valor compreendido entre a corrente de inrush calculada acima e a corrente de curto-circuito bifásica. Em casos como esse, a curva do relé, apresentada mais à frente, ficará muito próxima da curva do fusível, o que pode ocasionar sua queima. Para evitar isso, a função de segunda harmônica do relé deverá ser ativada, de forma que o relé do cliente atue antes da magnetização dos transformadores.

$$\frac{I_{inrush-real}}{RTC} \leq I_{inst-fase} \leq \frac{I_{cc2\phi}}{RTC} \quad (3.127)$$

$$I_{inst-fase} = 10,00 \, A \text{ (adotado)} \quad (3.128)$$

Para a unidade instantânea de neutro, o ajuste deve ser em um valor menor que a corrente de curto-circuito fase-terra mínimo no ponto de entrega, calculado em 3.63, ou seja:

$$I_{inrush-neutro} \leq \frac{I_{cc1\phi-min}}{RTC} \quad (3.129)$$

$$I_{inrush-neutro} \leq \frac{79,08}{60} \quad (3.130)$$

$$I_{inrush-neutro} = 1,30 \, A \text{ (adotado)} \quad (3.131)$$

De forma resumida, temos:

Tabela 3.6 - Ajustes da proteção - cliente.

TENSÃO	RTC	PICKUP	ANSI	PROTEÇÃO	TAPE	CURVA	INST.
13,8kV	300/5 60	96 INST=600	50/51	FASE	1,60	0,10	10,00 T=0,00
		15,6	50N/51N	NEUTRO	0,26	0,10	1,30

		INST=78					T=0,00
--	--	---------	--	--	--	--	--------

3.6.1.8 Coordenograma

Coordenogramas são utilizados para determinar a coordenação e/ou seletividade do equipamento de proteção de um circuito, neste caso são plotados valores de Tempo(s) x Corrente(A). Neste caso, os gráficos foram plotados pela empresa responsável pelos projetos da SE em análise, e serão apresentados para fins didáticos.

- **Fase:**

Foram plotados os seguintes pontos:

- Curvas das funções 50/51 de fase do relé do cliente e da concessionária.
- O ponto ANSI de fase dos transformadores.
- O ponto ANSI definido como maior valor de corrente de um curto-circuito que o transformador pode suportar sem ser danificado. A corrente do ponto ANSI de fase pode ser calculada pela expressão a seguir:

$$I_{ansi-fase} = \frac{100}{Z_{\%}} \times I_n \quad (3.132)$$

$$I_{ansi-fase} = \frac{100}{4,5} \times \frac{300000}{\sqrt{3} \times 13800} \quad (3.133)$$

$$I_{ansi-fase} = 278,92 \text{ A (com tempo de 2s)} \quad (3.134)$$

- **Corrente de Magnetização:**

A coordenação do valor desse valor é importante para garantir que o relé não atue durante a magnetização dos transformadores. Esse valor foi calculado em 3.126.

- **Neutro:**

Os pontos plotados são:

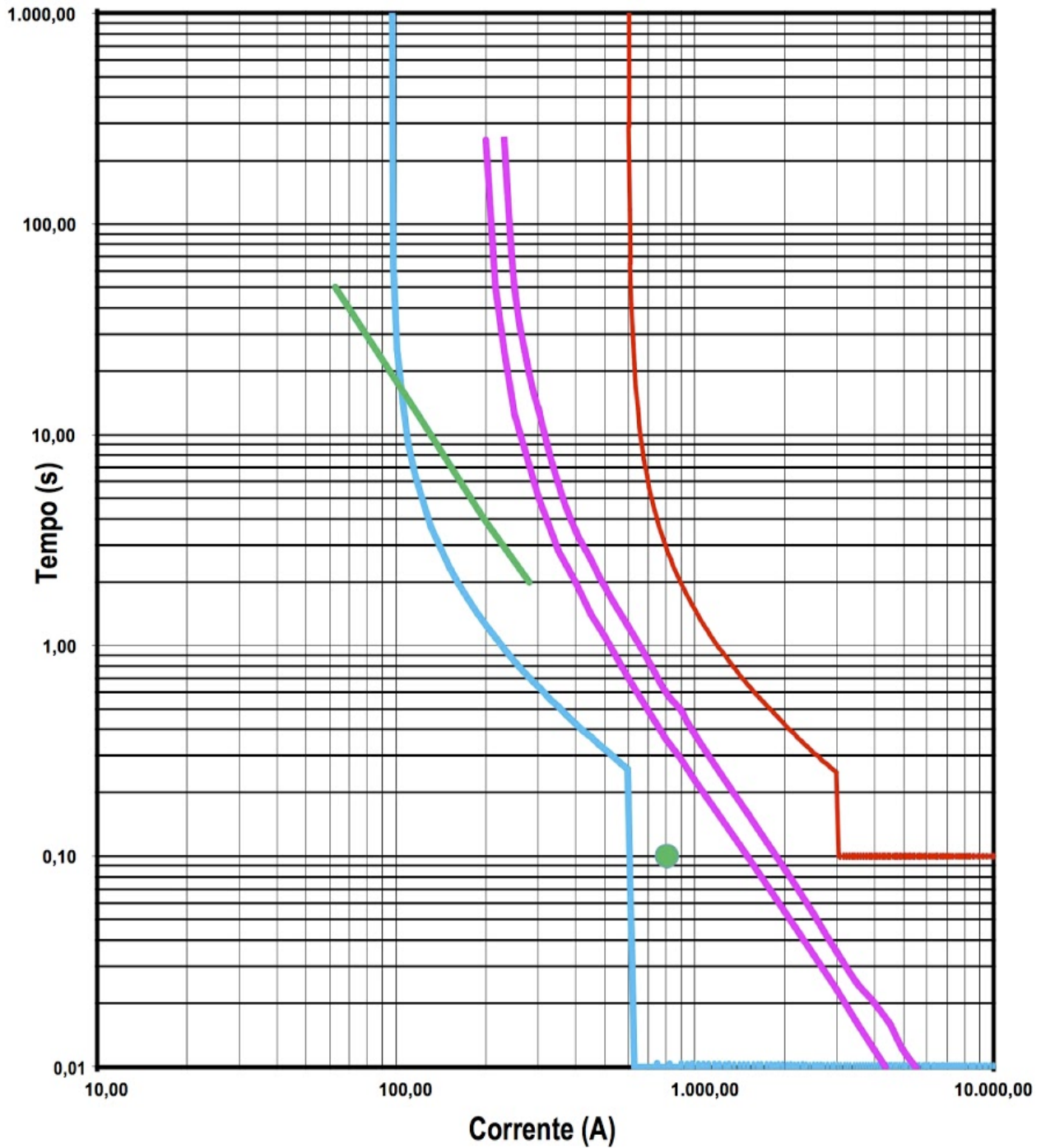
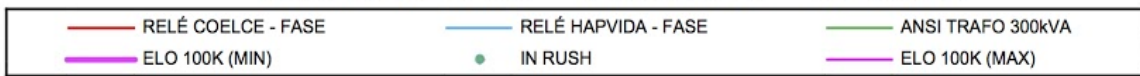
- Curvas das funções 50N/51N de fase do relé do cliente e da concessionária.
- O ponto ANSI de neutro dos transformadores.

Para conexões do tipo triângulo-estrela com neutro solidamente aterrado, é utilizado o ponto ANSI como:

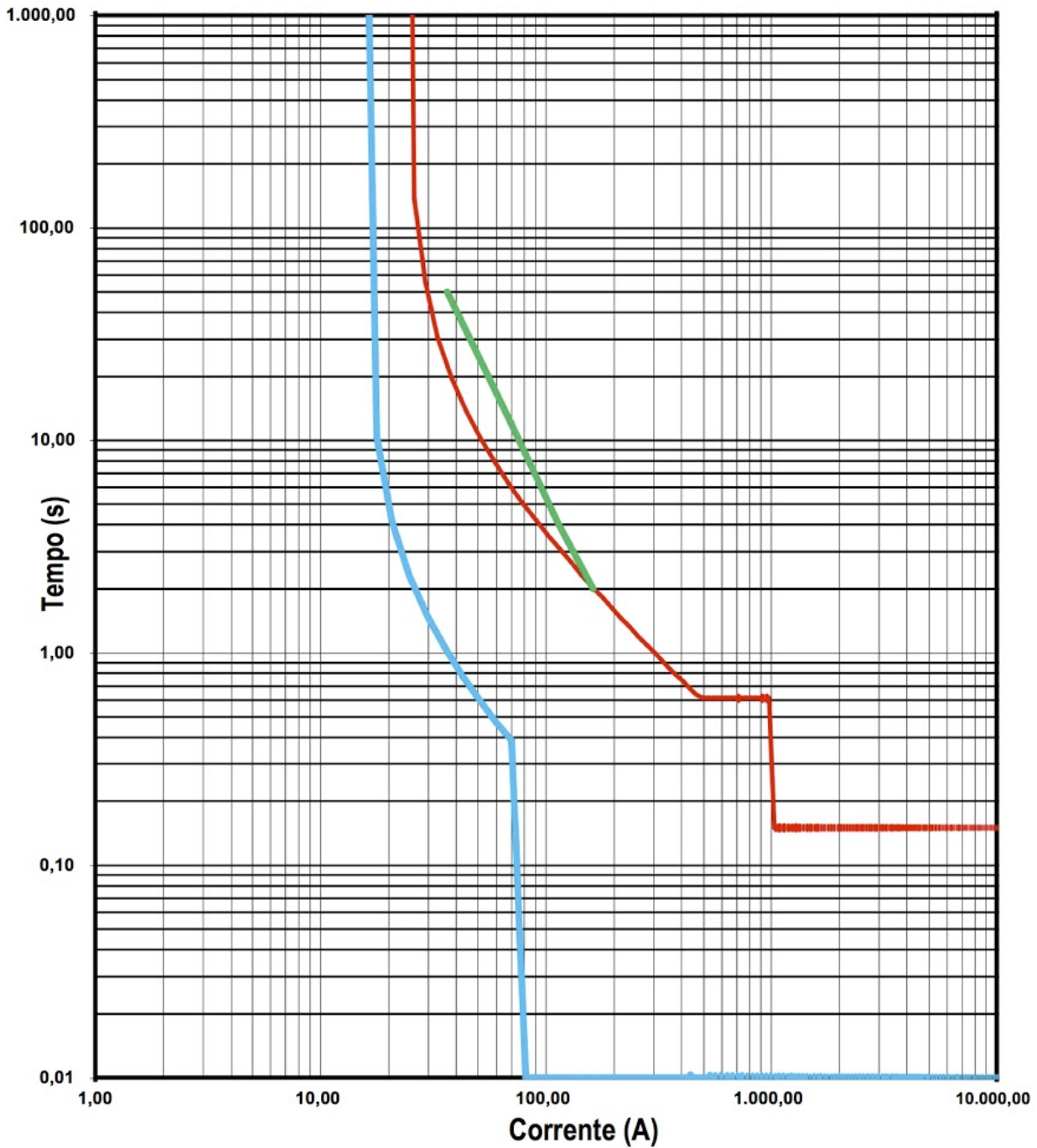
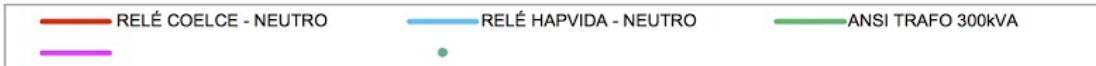
$$I_{ansi-neutro} = 0,58 \times I_{ansi-fase} \quad (3.135)$$

$$I_{ansi-neutro} = 0,58 \times 278,92 = 161,77 \text{ A (2s)} \quad (3.136)$$

- COORDENOGRAMA: FASE
- RTC CONCESSIONÁRIA: 800/5
- RTC CLIENTE: 300/5
- TRAFOS: 2 x 750 + 1 x 300kVA = 1.800kVA



- COORDENOGRAMA: NEUTRO
- RTC CONCESSIONÁRIA: 800/5
- RTC CLIENTE: 300/5
- TRAFOS: 2 x 750 + 1 x 300kVA = 1.800kVA



CAPÍTULO 4

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusão

Inicialmente, foi mostrado os pontos que favorecem os estudos de subestações: inexperiência e falta de profissionais aptos a elaborar projetos elétricos de subestações, horizonte de expansão do consumo de energia elétrica em geral e constantes mudanças de parâmetros de rede.

Em seguida, foram definidas as formas, tipos e classificações das subestações e suas aplicações, com imagens ilustrativas para um melhor entendimento das possíveis situações. Apresentou-se também um estudo detalhado de cada um dos principais equipamentos que compõem uma subestação, relacionando suas respectivas características gerais e funções desempenhadas dentro de um sistema. Com isso, espera-se que o leitor tenha compreendido quando aplicar e qual configuração utilizar os equipamentos fundamentais.

Com base nestes conceitos, foi elaborado um guia prático a partir de um estudo de caso de uma subestação de finalidade abaixadora para alimentação de um prédio comercial localizado em Fortaleza. O prédio foi detalhado quanto a suas potências instaladas, assim como a localização de seus equipamentos de transformação, manobra e proteção. Durante o estudo, são abordados fundamentos para o correto dimensionamento de seus equipamentos assim como a elaboração dos valores de parametrização das proteções do sistema.

É possível, a partir deste trabalho, concluir a importância dos estudos desses sistemas para o desenvolvimento seguro e viável do SEP, assim como o fazer de maneira simplificada e clara.

4.2 Trabalhos Futuros

Conforme estabelecido durante o trabalho, essa monografia foi estabelecida com fins de estudos do projeto elétrico das subestações quanto a sua concepção e dimensionamento, e, devido ao curto prazo de tempo e formato conciso de sua estrutura, não foi possível abordar temas posteriores a montagem física da subestação utilizada de exemplo, como o

comissionamento e o processo de energização, assim como análise posterior da rede.

São também de grande valia as análises dos projetos civis e eletromecânicos das instalações. Com a adição desses dois projetos, é possível a análise financeira e, conseqüentemente, verificação da atratividade financeira do projeto.

BIBLIOGRAFIA

[1] Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico – fevereiro 2018 [on-line]. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/boletins-2018>>.

(acessado em 01/04/2018)

[2] Filho, João Mamede. Manual de Equipamentos Elétricos. 3a Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2005, 587 p.

[3] Imagem SE Externa – fevereiro 2018 [on-line]. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/imagens-de-stock-d-rendem-da-subesta%C3%A7%C3%A3o-image37008154>>.

(acessado em 10/04/2018)

[4] Leão, R. P. S. p34 - Distribuição de Energia [Material de Aula].

[5] Gedra, Ricardo Luis. De Barros, Benjamim Ferreira. Cabine Primária. 4a Ed. ERICA, 2015, 55 p.

[6] Mufla – abril 2018 [on-line]. Disponível em: <http://www.mdpolcabos.com.br/cabos_terminacao.asp>.

(acessado em 18/04/2018)

[7] DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO – ENSAIO DE SIMULTANEIDADE – abril 2018 [on-line]. Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA4rAAK/disjuntor-alta-tensao#>>.

(acessado em 22/04/2018)

[8] Ilustração da ligação Y e Δ de impedâncias – abril 2018 [on-line]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Transforma%C3%A7%C3%A3o_Y-%CE%94#/media/File:Estrela-triangulo.png>.

(acessado em 22/04/2018)

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5356-1:2007 - Transformadores de potência - Parte 1: Generalidades. p.95. 2007.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6855:2009 - Transformadores de potência - Parte 1: Generalidades. 2009.

[11] Chave seccionadora tripolar – abril 2018 [on-line]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgMIYAK/curso-protecao-sistemas-eletricos>>.

(acessado em 28/04/2018)

[12] GONÇALVES, Renato Masago. Guia de Projeto para Subestação de AT. p.77 - 2012

[13] Barramento em anel – maio 2018 [on-line]. Disponível em: <<http://engenharianodiaadia.blogspot.com.br/2012/04/o-desenvolvimento-dos-sistemas.html>>.

(acessado em 09/05/2018)

[14] MCDONALD, J. D. Electric Power Substations Engineering. 2a. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

ANEXO A - NT-C 002/2017



4.25 Subestação

Parte das instalações elétricas da unidade consumidora atendida em tensão primária de distribuição que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas.

4.26 Subestação Abrigada

São consideradas aquelas instaladas em locais inteiramente abrigados, cujos equipamentos não estejam sujeitos a intempéries.

4.27 Tensão Primária de Distribuição

Tensão de 13,8kV utilizada nas redes de distribuição da Enel Distribuição Ceará, entre o secundário de suas subestações e os transformadores de distribuição.

4.28 Tensão Secundária de Distribuição

Tensão de 380/220 V, tensão trifásica e tensão monofásica, respectivamente.

4.29 Terminal de Consulta ao Consumo Individual – TCCI

Aquele que, instalado na unidade consumidora, permite ao consumidor visualizar o registro da medição de energia elétrica.

4.30 Unidade Consumidora - UC

Conjunto composto por instalações, ramal de entrada, equipamentos elétricos, condutores e acessórios, incluída a subestação, quando do fornecimento em tensão primária, caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em apenas um ponto de entrega, com medição individualizada, correspondente a um único consumidor e localizado em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas.

4.31 Unidade Consumidora do Grupo “A”

Unidade Consumidora que recebe energia em tensão igual ou superior a 2.300 V.

5 CONSIDERAÇÕES

Esta Norma pode, em qualquer tempo, ser modificada por razões de ordem técnica ou legal, motivo pelo qual os interessados devem, periodicamente, consultar a Enel Distribuição Ceará quanto às eventuais alterações.

As prescrições desta Norma não implicam no direito do consumidor imputar à Enel Distribuição Ceará quaisquer responsabilidades com relação à qualidade de materiais ou equipamentos, por ele adquiridos, com relação ao desempenho dos mesmos, incluindo os riscos e danos de propriedade ou segurança de terceiros, decorrentes da má utilização e conservação dos mesmos ou do uso inadequado da energia, ainda que a Enel Distribuição Ceará tenha aceito o projeto e/ou procedido vistoria.

A presente Norma não invalida qualquer outra sobre o assunto que estiver em vigor ou for criada pela ABNT, ou outro órgão competente. No entanto, em qualquer ponto onde, porventura, surgirem divergências entre esta Norma e outras emanadas dos órgãos supracitados, prevalecem as exigências mínimas aqui contidas, até a sua modificação, se for o caso.

6 LIMITES DE FORNECIMENTO

6.1 Consumidor Cativo

O fornecimento de energia elétrica a consumidor cativo deve ser realizado em MT (13,8 kV) quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda a ser contratada pelo consumidor, para fornecimento, estiver compreendida entre 30 kW e 2.500 kW.



6.2 Consumidor Especial

6.2.1 O fornecimento de energia elétrica a consumidor especial deve ser realizado em MT (13,8 kV) quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou maior a 500 kW e a demanda a ser contratada pelo consumidor, para fornecimento, estiver compreendida entre 500 kW e 2.500 kW, em qualquer segmento horossazonal.

6.2.2 O fornecimento de energia elétrica a um conjunto de unidades consumidoras pertencentes a consumidor especial deve ser em MT (13,8kV) quando:

- a) a carga instalada em cada unidade consumidora for superior a 75 kW;
- b) a soma da carga instalada de todas as unidades consumidoras seja maior ou igual a 500 kW;
- c) a demanda a ser contratada pelo interessado, para fornecimento, estiver compreendida entre 500 kW e 2.500 kW, em qualquer segmento horossazonal.

NOTA: Estas unidades consumidoras devem estar localizadas em áreas contíguas, caso contrário, devem possuir o mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica - CNPJ.

6.2.3 Para unidades consumidoras com demanda contratada superior a 2.500 kW, verificar NT-C 004.

6.3 Limites Especiais de Fornecimento

6.3.1 A Enel Distribuição Ceará pode estabelecer a tensão de fornecimento sem observar os limites de que trata o Item 6.1, quando a unidade consumidora incluir-se em um dos seguintes casos:

- a) possuir equipamentos que pelas suas características de funcionamento ou potência, possam prejudicar a qualidade do fornecimento a outros consumidores;
- b) apresentar aumento de carga instalada suficiente para ser atendido em tensão primária de distribuição, mas localizar-se em PMUC que não oferece condições para ser atendida nesta tensão. Neste caso o atendimento deve ser em tensão secundária de distribuição;
- c) havendo conveniência técnica e econômica para o sistema elétrico da Enel Distribuição Ceará, desde que haja anuência do consumidor.

6.3.2 O consumidor pode optar por tensão superior às referidas no item 6.1, desde que haja viabilidade técnica do subsistema elétrico, sendo de sua responsabilidade os investimentos adicionais necessários ao atendimento, conforme NT-Br 009.

6.3.3 O consumidor pode optar por ser atendido em média tensão, mesmo que não tenha carga instalada superior a 75kW, desde que haja viabilidade técnica do subsistema elétrico, sendo de sua responsabilidade os investimentos adicionais necessários ao atendimento, conforme NT-Br 009.

6.3.4 O enquadramento em um dos casos do item 6.3.1 obriga a Enel Distribuição Ceará e o consumidor a inclusão de cláusula no Contrato de Fornecimento, detalhando as razões para sua utilização.

6.3.5 O consumidor titular de unidade consumidora com características de atendimento em tensão secundária, exceto nos casos de sistemas subterrâneas em tensão secundária, pode optar por tensão primária de distribuição, desde que a Enel Distribuição Ceará constatare viabilidade técnica no seu sistema elétrico e o consumidor assumira os investimentos adicionais necessários ao atendimento.

6.3.6 Deve ser atendida em MT (13,8 kV), a critério da Enel Distribuição Ceará, a unidade consumidora que, mesmo apresentando carga instalada inferior a 75 kW, possua em suas instalações, pelo menos, um dos seguintes equipamentos:




- a) motor trifásico com potência individual maior ou igual que 30 cv, em 380 V;
- b) aparelho trifásico não resistivo, com potência individual maior que 20 kVA;
- c) máquina de solda a transformador trifásico com potência maior que 15 kVA;
- d) aparelho de raios x trifásico ou outros aparelhos hospitalares com potência maior que 20 kVA;
- e) bate-estaca, elevador de carga, betoneira, grua ou equipamento similar, ou equipamentos que possuam cargas pulsantes, que estejam localizados em canteiros de obra e cuja potência individual ultrapasse a 10 cv.

ANEXO B - DADOS ENEL

IDENTIFICAÇÃO DO SOLICITANTENome: HAPVIDA ASSISTENCIA MEDICA LTDA
Endereço: AV HERACLITO GRACA N 406 4 ANDARFone: 32243500
Município: FORTALEZA**IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**Nome: HAPVIDA ASSISTENCIA MEDICA LTDA
Localização: AV HERACLITO GRACA N 406 4 ANDAR
Ramo de Atividade: z inativo ATIV. DE ATEN.HOSPITALAR
Capacidade Instalada (kVA): 1800
Demanda Prevista (kW): 1500
Extensão de rede MT (km): 0
Extensão de rede BT (km): 0
Regime de Operação: Tipico
Início de Operação: 08/11/2016
Documento apresentado: Oficio/Carta**SISTEMA ELÉTRICO RESPONSÁVEL PELO ATENDIMENTO**Subestação: MAGUARY
Circuito: 01Y5
Ponto de Conexão: LIG. NOVA
Código Estrutura Anterior: A29E1163 Posterior: A29E1313**RESULTADO DA AVALIAÇÃO TÉCNICA:**Necessidade de Obras de Suporte: **SIM** (ver página 2/2)**OBSERVAÇÕES**

1. AVT para acréscimo de potência de 500kVA para 1800kVA e demanda de 255kW para 1500kW da UC 1427849.

VALIDADE: Este AVT é valido até 21/03/2017

Elaborado:	Visto:	Aprovo:
 CAMILO MARTINS CASTELO Engenheiro	 ANIBAL QUEIROZ BRAGA Engenheiro	 PAULO PETRONIO G L DE F VERAS Chefe Departamento

IDENTIFICAÇÃO DO SOLICITANTE

Nome: HAPVIDA ASSISTENCIA MEDICA LTDA
Endereço: AV HERACLITO GRACA N 406 4 ANDAR

Fone: 32243500
Município: FORTALEZA

OBRAS DE SUPORTE NECESSÁRIAS**1. Obras para Melhoria da Qualidade do Fornecimento****2. Obras diretamente vinculadas ao Atendimento da Carga da Unidade Consumidora****ABERTURA CONJUNTO CHAVE SEZIONADORA 15,0KV**




3. Abertura chave em operação na estrutura A28E-0424 a fim de transferir trecho do alimentador MGY01Y5 para o ADT01L1.

CONSTRUÇÃO CIRCUITO MÉDIA TENSÃO AÉREO

2. Construção de aprox. 500m de alimentador em cabo cobre 95mm² trecho a partir da estrutura anterior a 28E-1173 até a A28E-0758 ao longo da rua padre valdevino.

INSTALAÇÃO CHAVE SEZIONADORA 15,0KV

1. Instalação Chave NA na estrutura A35E-2317 a fim de transferir ramal do TAP01F2 para o ADT01L1;

Elaborado:	Visto:	Aprovo:
 CAMILO MARTINS CASTELO Engenheiro	 ANIBAL QUEIROZ BRAGA Engenheiro	 PAULO PETRONIO G L DE F VERAS Chefe Departamento

INFORMAÇÃO TÉCNICA DO PONTO DE CONEXÃO AO SISTEMA ELÉTRICO COELCE

Dados do Solicitante:

Solicitante: **Hapvida Assistência Médica LTDA**
Unidade Consumidora: **Hapvida Assistência Médica LTDA**
Município: **Fortaleza**
Localização: **Av. Heraclito Graça 406**

Dados do Sistema Elétrico:

Subestação: **MAGUARY**
Alimentador: **01Y5**
Ponto de Conexão: **A29E-1163/A29E-1313**

Informação Técnica: Parâmetros para Cálculo do curto-circuito.

Topologia e parâmetros da rede de distribuição de média tensão até o ponto de conexão da unidade consumidora.

Impedância Reduzida na barra 15,0kV da subestação em por unidade (pu):

Sequência Positiva → $R1 = 0,0095$ $X1 = 0,7183$
Sequência Zero → $R0 = 0,0000$ $X0 = 0,6572$

Valores Base para cálculo dos parâmetros em por unidade (pu):

Potência Base → 100,0 MVA
Tensão Base 13,8 kV

Trecho	Condutor	Extensão (km)	Impedância Condutor em Ohm/km			
			Sequência Positiva		Sequência Zero	
			R1	X1	R0	X0
1	Spacer 185mm ²	1,54	0,1640	0,2522	0,3418	2,1701
2	Cobre 2/0 AWG	0,295	0,2987	0,4204	0,4765	1,9446
3	Cobre 95mm ²	0,802	0,2231	0,4040	0,3991	1,9282
4						
5						

Informamos que segue em anexo uma via do documento Ordem de Ajuste da Proteção do alimentador 01Y5 da subestação MAGUARY.

Aprovado por: **Petrônio Veras**

Planejamento da Rede AT-MT

Elaborado por: **Camilo Camurça**

Planejamento da Rede AT-MT



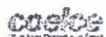
ORDEM DE AJUSTE DE PROTEÇÃO
SE: MAGUARY_21Y5 - MG Y - II

OAP Nº 055/2016

034 DATA: 15/04/2016

PÁGINA: 01 / 02

ITEM	EQUIPAMENTO OU LT PROTEGIDO	TENSÃO (KV)	RELAÇÃO DE TC (A)	CORRENTE DE PICK-UP(A)	CÓDIGO ANSI	CARACTERÍSTICAS / AJUSTES DA PROTEÇÃO						TIPO DE TEMPORIZAÇÃO	IMPLANTACÃO		CONTROLE				
						PROTEÇÃO	FABRICANTE/ TIPO	TEMPORIZADO	INSTANTANEO	CURVA	TAPE		EQUIV	CURVA	INST.	NOME	DATA	SITUAÇÃO	OAP Nº
01	ALIMENTADOR	13,8	800 - 5	600	50 / 51	FASE	TEAM-ARTECHE PL-300 Proteccion de Sobreintensidad(1)	0,10 - 200 INC - 0,01A IN=5A	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	(0,05-1,05)	3,75	3,75	0,07	INST F=18,75 I=0,10 Seg	MI. BSC		SUBSTITUI	019/16	01
	RELIG. 21Y5	13,8	800 - 5	24	50 / 51N	NEUTRO	TEAM-ARTECHE PL-300 Proteccion de Sobreintensidad(1)	0,10 - 200 INC - 0,01A IN=5A	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	(0,05-1,05)	0,15	0,15	0,86	INST. N=6,25 I=0,15 Seg	MI. BSC				
01A	ALIMENTADOR	13,8	800 - 5	15,04	50NS / 51NS	FASE	TEAM-ARTECHE PL-300 Sobretensionidad(1) Noctro Sensible	0,005 - 10,000 INC - 0,001A IN=5A	0,005 - 10,000 I=0,00-60,00/0,01	(0,00-1,00)	0,094	-	Tempo Fijo=30 Seg.	Habilitado -> NO	F.T.		SUBSTITUI	019/16	01A
	RELIG. 21Y5	13,8	800 - 5	160	46	NEUTRO	TEAM-ARTECHE PL-300 Sobretensionidad(1) Desregulador (12)	0,10 - 200 INC - 0,01A IN=5A	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	(0,0-0,00)	3 1/2 -> 3,0	3,0	3,0	Tempo Fijo=02 Seg	Habilitado -> NO	F.T.			
01B	ALIMENTADOR	13,8	800 - 5	#####	50	FASE	TEAM-ARTECHE PL-300 Proteccion Sobrent Instantaneo HIGH(1)	-	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	-	-	-	-	Habilitado -> NO	-		SUBSTITUI	019/16	01B
	RELIG. 21Y5	13,8	800 - 5	#####	50N	NEUTRO	TEAM-ARTECHE PL-300 Proteccion Sobrent Instantaneo HIGH(1)	-	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	-	-	-	-	Habilitado -> NO	-				
01C	ALIMENTADOR	13,8	800 - 5	0,300	46A	NEUTRO	TEAM-ARTECHE PL-300 Proteccion de Sobreintensidad(1) Freq. 50/60 Hz	0,10 - 0,50 INC - 0,01A IN=5A	-	(0,05-300 f)	0,300	-	Tempo Fijo=12 Seg	F.T.		SUBSTITUI	019/16	01C	
01D (**)	ALIMENTADOR	13,8	800 - 5	600	50 / 51	CARGA FRIA	TEAM-ARTECHE PL-300 Prot. de Sobreintensidad Carga Fria	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	Habilitado -> SI	3,75	3,75	0,07	18,75 Tempo Fijo = 0,20 seg	MI. BSC		SUBSTITUI	019/16	01D
						FASE	TEAM-ARTECHE PL-300 Prot. de Sobreintensidad Carga Fria	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	Habilitado -> SI	0,15	0,15	0,86	6,25 Tempo Fijo = 0,20 seg	MI. BSC				
						NEUTRO	TEAM-ARTECHE PL-300 Prot. de Sobreintensidad Carga Fria	0,005 - 10,000 I=0,00-60,00/0,01	0,005 - 10,000 I=0,00-60,00/0,01	Habilitado -> NO	0,094	-	Tempo Fijo=30 Seg	F.T.					
01E	RELIG. 21Y5 62BF (Falha de Relgador) TRIP -> 11T5	13,8	800 - 5	-	62BF	FALHA DE DISJUNTOR	TEAM-ARTECHE PL-300 Prot. de Sobreintensidad Carga Fria	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	0,10 - 200 I=0,00-60,00/0,01	INC - 0,01	INC - 0,01	INC - 0,01	Tempo Fijo=10,00-00,00s	Reposicion Fases -> 0,50 Reposicion Neutro -> 0,50 Tempo Fijo -> 0,20s	F.T.		SUBSTITUI	019/16	01E
FALHA DE RELIGADOR: Usando flagão -> Ativar						Habilitado SI													
						VERIFICACÃO DE RTCs	SISTEMA DE RELGAMENTO			RELIGADORES				IMPLANTACÃO					
						F. Técnico	Série e Medição	EQUIPAMENTO			21Y5				RELIGADOR				
						Sim ou Não	Bucha	FABRICANTE / TIPO (RELE)							21Y5				
								FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO			11 - 1T								
								TEMPO DE RELGAMENTO			10								
								TEMPO DE RESET			45,0								
EMISSION						VISTO DO CHEFE			OBSERVAÇÕES:										
NOME						DATA			* ESTAS RTC'S E RELGAMENTOS ESTÃO CORRETOS. (FORAM VERIFICADOS NO CAMPO).										
Maria						15 04 16													



ORDEM DE AJUSTE DE PROTEÇÃO

SE: MAGUARY_21Y5 - MGY - II

OAP Nº 055 / 2016

PÁGINA: 02 / 02

DADOS DO RELIGADOR

DATA: 15/04/2016

Nº	CÓDIGO DO DISJUNTOR / RELIGADOR	FABRICANTE	TIPO	CORRENTE NOMINAL (A)	TENSÃO NOMINAL (KV)	CAPACIDADE DE INTERRUPTÃO SIMÉTRICA (KA)	TEMPO DE INTERRUPTÃO TOTAL (TS)	CICLO DE OPERAÇÃO	ANO DE FABRICA	VERIFICADO POR	DATA	VERIFICADO ANTERIORMENTE SIM OU NÃO
01	21Y5	INEPAR	HAF 6142-4	1250	24,0	25,0	60 ms	0-(0,3)seg-CO-(3)min-CO				NÃO

DADOS DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE

Nº	CÓDIGO DO TC	ASSOCIADO AO EQUIPAMENTO	FABRICANTE	TIPO	FATOR TERMICO	SÉRIE COM A MEDIÇÃO SIM OU NÃO	BUCHA SIM OU NÃO	RELAÇÕES TRANSFORMAÇÕES DISPONÍVEIS (R.T.C.S)	DENTRO DO SV-PASS SIM OU NÃO	ANO DE FABRICA	VERIFICADO POR	CLASSE DE EXATIDÃO DOS TC S	DATA	VERIFICADO ANTERIORMENTE SIM OU NÃO
01	SEM CÓDIGO	21Y5	ALSTOM	KIC	1,2	NÃO (JUNTO COM A PROTEÇÃO)	NÃO	100/200/300/400/500/600/800/900/1200/1200-5A	-			10B50-0,3C12,5		NÃO

Cálculo do tempo do relé TEAM-ARTECHE PL-300 Proteccion de Sobreintensidad(1):

$$t = \frac{13,5 \times Curva}{\left(\frac{I}{I_{ref}}\right)^1 - 1}$$

Curva IEC: VI = MI

As faixas estão na OAP

t - tempo de atuação em segundos,

Curva - múltiplo de tempos (curva),

I - corrente de falta,

Iref - corrente de ajuste (Ipick-up)

Obs.: 1) $\frac{I}{I_{ref}} \leq 1,1 \Rightarrow$ Relé não opera.

2) $\frac{I}{I_{ref}} > 40 \Rightarrow$ Calcular o tempo usando o múltiplo (I/Iref) igual a 40 e considerar o tempo real menor que (<) o valor calculado.

EMISSÃO			VISTO DO CHEFE			OBSERVAÇÕES
NOME	DATA	RUBRICA	NOME	DATA	RUBRICA	
Maria	15/04/16					

ANEXO C - SEPAM S20

Proteção de redes elétricas

Sepam série 20

Manual de utilização
2009



Schneider
Electric

Peso

Peso mínimo (unidade básica com IHM básica e sem MES114)	1,2 kg
Peso máximo (unidade básica com IHM avançada e MES114)	1,7 kg

Entradas analógicas

Transformador de corrente TC 1 A ou 5 A (com CCA630/CCA634) 1 A a 6250 A nominais	Impedância de entrada	< 0,02 Ω
	Consumo	< 0,02 VA a 1 A < 0,5 VA a 5 A
	Soportabilidade térmica nominal	4 In
Transformador de potencial 220 V a 250 kV nominais	Sobrecarga 1 segundo	100 In
	Impedância de entrada	> 100 kΩ
	Tensão de entrada	100 a 230/√3 V
	Soportabilidade térmica nominal	240 V
Sobrecarga 1 segundo	480 V	

Entrada do sensor de temperatura (módulo MET148-2)

Tipo do sensor	Pt 100	Ni 100 / 120
Isolação para terra	Nenhuma	Nenhuma
Corrente injetada no sensor	4 mA	4 mA
Distância máxima entre sensor e módulo	1 km	

Entradas lógicas

	MES114	MES114E	MES114F	MES114F	MES114F	
Tensão	24 a 250 Vcc	110 a 125 Vcc	110 Vca	220 a 250 Vcc	220 a 240 Vca	
Faixa	19,2 a 275 Vcc	88 a 150 Vcc	88 a 132 Vca	176 a 275 Vcc	176 a 264 Vca	
Frequência	-	-	47 a 63 Hz	-	47 a 63 Hz	
Consumo típico	3 mA	3 mA	3 mA	3 mA	3 mA	
Limite de chaveamento típico	14 Vcc	82 Vcc	58 Vca	154 Vcc	120 Vca	
Tensão limite de entrada	Em estado 1	≥ 19 Vcc	≥ 88 Vcc	≥ 88 Vca	≥ 176 Vcc	≥ 176 Vca
	Em estado 0	≤ 6 Vcc	≤ 75 Vcc	≤ 22 Vca	≤ 137 Vcc	≤ 48 Vca
Isolação das entradas em relação a outros grupos isolados	Reforçada	Reforçada	Reforçada	Reforçada	Reforçada	

Saídas a relé**Saídas de controle a relé (contatos O1, O2, O11) (2)**

Tensão	CC	24 / 48 Vcc	127 Vcc	220 Vcc	250 Vcc	
	CA (47,5 a 63 Hz)	-	-	-	-	100 a 240 Vca
Corrente suportada continuamente		8 A	8 A	8 A	8 A	8 A
Capacidade de interrupção	Carga resistiva	8 / 4 A	0,7 A	0,3 A	0,2 A	-
	L/R carga < 20 ms	6 / 2 A	0,5 A	0,2 A	-	-
	L/R carga < 40 ms	4 / 1 A	0,2 A	0,1 A	-	-
	Carga resistiva	-	-	-	-	8 A
	cosφ carga > 0,3	-	-	-	-	5 A
Capacidade de fechamento	< 15 A para 200 ms					
Isolação das entradas em relação a outros grupos isolados		Reforçada				

Saídas de alarme a relé (contatos O3, O4, O12, O13, O14)

Tensão	CC	24 / 48 Vcc	127 Vcc	220 Vcc	250 Vcc	
	CA (47,5 a 63 Hz)	-	-	-	-	100 a 240 Vca
Corrente suportada continuamente		2 A	2 A	2 A	2 A	2 A
Capacidade de interrupção	Carga resistiva	2 / 1 A	0,6 A	0,3 A	0,2 A	-
	L/R carga < 20 ms	2 / 1 A	0,5 A	0,15 A	-	-
	cosφ carga > 0,3	-	-	-	-	1 A
Isolação das entradas em relação a outros grupos isolados		Reforçada				

Alimentação

Tensão	24 / 250 Vcc	110 / 240 Vca
Faixa	-20 % +10 %	-20 % +10 % (47,5 a 63 Hz)
Consumo mínimo (1)	< 4,5 W	< 9 VA
Consumo máximo (1)	< 8 W	< 15 VA
Corrente de chamada	< 10 A para 10 ms, < 28 A para 100 μs	< 15 A para o primeiro meio período
Soportabilidade às microrrupturas	10 ms	20 ms

Saída analógica (módulo MSA141)

Corrente	4 - 20 mA, 0 - 20 mA, 0 - 10 mA
Impedância da carga	< 600 Ω (fiação inclusa)
Precisão	0,50 %

(1) De acordo com a configuração.

(2) Saídas relé em conformidade com a norma C37.90 cláusula 6.7, nível 30 A, 200 ms, 2000 operações.

Descrição

A função de proteção de sobrecorrente de fase dispõe de 4 elementos independentes divididos em 2 grupos de 2 elementos chamados respectivamente de Grupo A e Grupo B.

Para parametrização é possível escolher a utilização destes 2 grupos:

- funcionamento exclusivamente com Grupo A ou Grupo B, com mudança de um grupo para o outro condicionada exclusivamente pelo estado da entrada lógica I13, ou pelo telecomando (TC3, TC4);
I13 = 0 Grupo A
I13 = 1 Grupo B

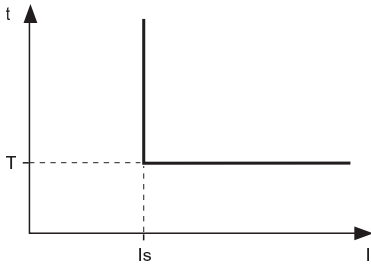
- funcionamento com Grupo A e Grupo B ativos para realizar uma função com 4 elementos;
Pode-se habilitar ou desabilitar cada grupo (A/B) de 2 elementos.

Funcionamento

A proteção de sobrecorrente de fase é trifásica. Ela é ativada se uma, duas ou três das correntes de fase ultrapassarem o ajuste da operação. Ela é temporizada. A temporização pode ser a tempo definido (DT) ou IDMT conforme as curvas ao lado.

Proteção a tempo definido

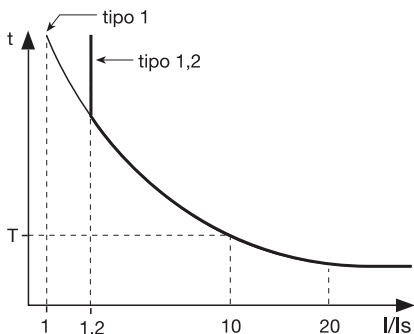
Ela corresponde ao ajuste de operação expresso em Ampères e T corresponde a temporização da proteção.



Princípio de proteção a tempo definido.

Proteção IDMT

O funcionamento da proteção IDMT está de acordo com as normas IEC (60255-3), BS 142 e IEEE (C-37112).



Princípio da proteção IDMT.

O ajuste Is corresponde à assíntota vertical da curva e T representa o tempo de operação a 10 Is. O tempo de trip para os valores I/Is inferiores a 1,2 depende do tipo da curva escolhida.

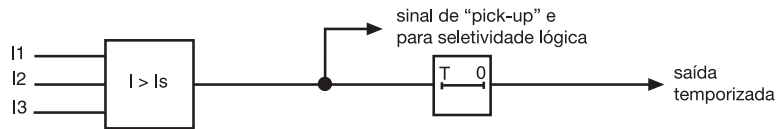
Nome da curva	Tipo
Tempo inverso (SIT)	1,2
Tempo muito inverso (VIT ou LTI)	1,2
Tempo extremamente inverso (EIT)	1,2
Tempo ultra inverso (UIT)	1,2
Curva RI	1
IEC tempo inverso (SIT / A)	1
IEC tempo muito inverso (VIT ou LTI / B)	1
IEC tempo extremamente inverso (EIT / C)	1
IEEE moderadamente inverso (MIT)	1
IEEE muito inverso (VIT)	1
IEEE extremamente inverso (EIT)	1
IAC inverso (SIT)	1
IAC muito inverso (VIT)	1
IAC extremamente inverso (EIT)	1

As equações das curvas são descritas no capítulo "funções de proteção IDMT".

A função considera as variações da corrente durante a temporização. Para as correntes de amplitude muito grande, a proteção tem uma característica de tempo definido.

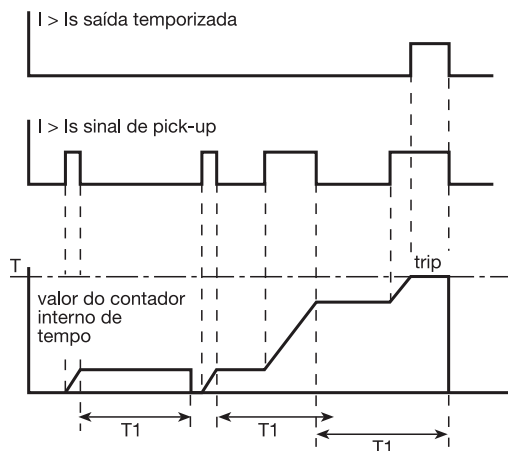
- se $I > 20 I_s$, o tempo de trip é o tempo correspondente a 20 Is;
 - se $I > 40 I_n$, o tempo de trip é o tempo correspondente a 40 In.
- (In: corrente nominal primária do TC definido na tela "Características iniciais").

Diagrama de bloco

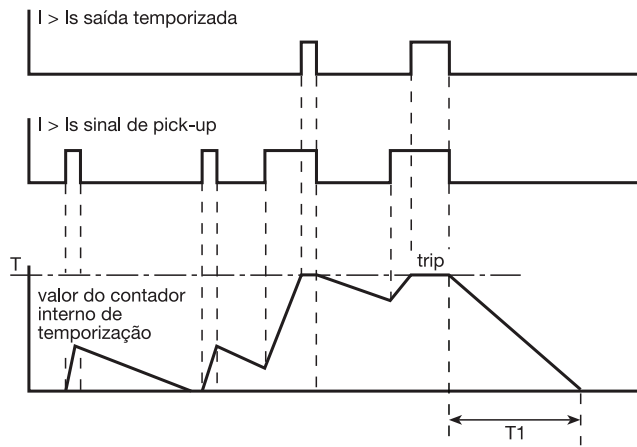


Tempo de reset

A função inclui um tempo de reset T1 ajustável:
 ■ tempo definido (curva de espera) para todas as curvas de trip.



■ Curvas IDMT para IEC, IEEE e IAC.



Características

Curva de trip		
Ajuste		Tempo definido, IDMT: escolhido de acordo com a lista da página anterior
Ajuste Is		
Ajuste	Tempo definido	$0,1 I_n \leq I_s \leq 24 I_n$ expresso em Ampères
	IDMT	$0,1 I_n \leq I_s \leq 2,4 I_n$ expresso em Ampères
Resolução		1 A ou 1 dígito
Precisão ⁽¹⁾		$\pm 5\%$ ou $\pm 0,01 I_n$
Relação drop out/pick-up		$93,5\% \pm 5\%$ ou $> (1 - 0,02 I_n/I_s) \times 100\%$
Temporização T (tempo de operação a 10 Is)		
Ajuste	Tempo definido	inst. $50 \text{ ms} \leq T \leq 300 \text{ s}$
	IDMT	$100 \text{ ms} \leq T \leq 12,5 \text{ s}$ ou TMS ⁽²⁾
Resolução		10 ms ou 1 dígito
Precisão ⁽¹⁾	Tempo definido	$\pm 2\%$ ou de -10 ms a +25 ms
	IDMT	Classe 5 ou de -10 ms a +25 ms
Tempo de reset T1		
Tempo definido (timer hold)		0; 0,05 a 300 s
IDMT ⁽³⁾		0,5 a 20 s
Tempos característicos		
Tempo de operação		pick-up < 35 ms a 2 Is (típico 25 ms) instantâneo confirmado: ■ inst. < 50 ms a 2 Is para $I_s \geq 0,3 I_n$ (típico 35 ms) ■ inst. < 70 ms a 2 Is para $I_s < 0,3 I_n$ (típico 50 ms)
Tempo de drop-out		< 35 ms
Tempo de reset		< 50 ms (para T1 = 0)

(1) Nas condições de referência (IEC 60255-6).

(2) Faixas de ajuste em modo TMS (Time Multiplier Setting)

Inverso (SIT) e IEC SIT/A: 0,04 a 4,20

Muito inverso (VIT) e IEC VIT/B: 0,07 a 8,33

Muito inverso (LTI) e IEC LTI/B: 0,01 a 0,93

Ext inverso (EIT) e IEC EIT/C: 0,13 a 15,47

IEEE moderadamente inverso: 0,42 a 51,86

IEEE muito inverso: 0,73 a 90,57

IEEE extremamente inverso: 1,24 a 154,32

IAC inverso: 0,34 a 42,08

IAC muito inverso: 0,61 a 75,75

IAC extremamente inverso: 1,08 a 134,4

(3) Somente para as curvas de trip normalizadas tipo IEC, IEEE e IAC.

Equivalência TS/TC para cada protocolo

Modbus	DNP3	IEC 60870-5-103	IEC 61850
TC	Saída Binária	ASDU, FUN, INF	LN.DO.DA
TC3	BO08	20, 160, 23	LLN0.SGCB.SetActiveSettingGroup
TC4	BO09	20, 160, 24	LLN0.SGCB.SetActiveSettingGroup

Descrição

A função de proteção de fuga à terra dispõe de 4 elementos independentes divididos em 2 grupos de 2 elementos chamados respectivamente de Grupo A e Grupo B.

Para parametrização é possível escolher a utilização destes 2 grupos:

- funcionamento exclusivamente com Grupo A ou Grupo B, com mudança de um grupo para o outro condicionada exclusivamente pelo estado da entrada lógica I13, ou pelo telecomando (TC3, TC4);

I13 = 0 grupo A

I13 = 1 grupo B

- funcionamento com Grupo A e Grupo B ativos para realizar uma função com 4 elementos;

Pode-se habilitar ou desabilitar cada grupo (A/B) de 2 elementos.

Funcionamento

A proteção de fuga à terra é monofásica.

Ela é ativada se a corrente de fuga à terra ultrapassar o ajuste da operação.

Ela é temporizada. A temporização pode ser a tempo definido (DT) ou IDMT conforme as curvas ao lado.

A proteção inclui uma restrição à 2ª harmônica o que permite uma grande estabilidade na energização de transformadores (medição da corrente residual pela soma das 3 fases dos TCs).

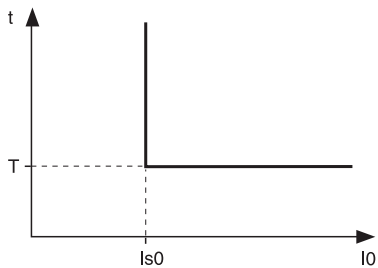
Para qualquer que seja o valor da corrente fundamental, esta restrição inibe o trip.

Esta restrição pode ser configurada na parametrização.

Esta função de proteção pode ser inibida através da entrada I23 somente para aplicação S23.

Proteção a tempo definido

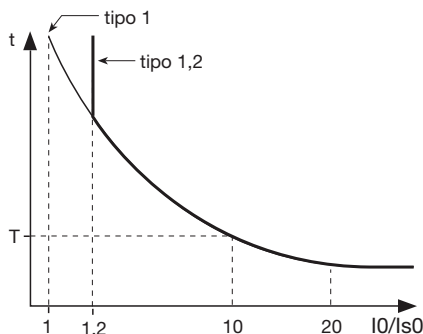
Is0 corresponde ao ajuste de operação expressa em Ampères e T corresponde a temporização da proteção.



Princípio de proteção a tempo definido.

Proteção IDMT

O funcionamento da proteção IDMT está de acordo com as normas IEC (60255-3), BS 142 e IEEE (C-37112).



Princípio da proteção IDMT.

O ajuste Is0 corresponde à assíntota vertical da curva e T representa o tempo de operação a 10 Is0.

O tempo de trip para os valores I0/Is0 inferiores a 1,2 depende do tipo de curva escolhida..

Nome da curva	Tipo
Tempo inverso (SIT)	1,2
Tempo muito inverso (VIT ou LTI)	1,2
Tempo extremamente inverso (EIT)	1,2
Tempo ultra inverso (UIT)	1,2
Curva RI	1
IEC tempo inverso (SIT / A)	1
IEC tempo muito inverso (VIT ou LTI / B)	1
IEC tempo extremamente inverso (EIT / C)	1
IEEE moderadamente inverso (MIT)	1
IEEE muito inverso (VIT)	1
IEEE extremamente inverso (EIT)	1
IAC inverso (SIT)	1
IAC muito inverso (VIT)	1
IAC extremamente inverso (EIT)	1

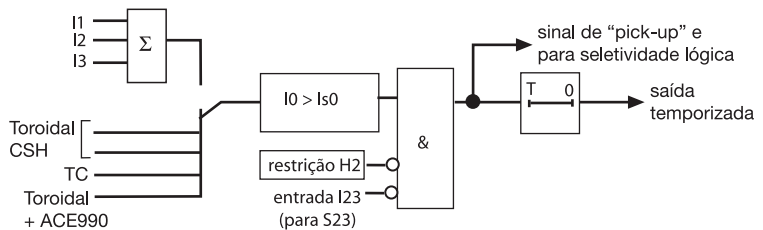
As equações das curvas são descritas no capítulo "funções de proteção IDMT".

A função considera as variações da corrente durante a temporização.

Para as correntes de amplitude muito grande, a proteção tem uma característica de tempo definido.

- se $I_0 > 20 I_{s0}$, o tempo de trip é o tempo correspondente a 20 Is0;
- se $I_0 > 15 I_{n0}$ ⁽¹⁾, o tempo de trip é o tempo correspondente a 15 In0.

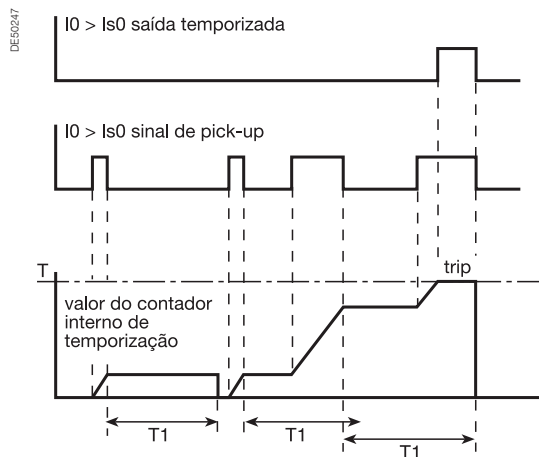
Diagrama de bloco



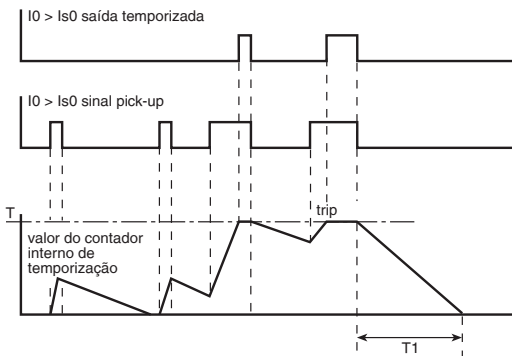
Tempo de reset

A função inclui um tempo de reset T1 ajustável:

- com tempo definido (curva de espera) para todas as curvas de trip.



■ com tempo inverso para as curvas IEC, IEEE e IAC.



Características

Curva de trip	
Ajuste	Tempo definido, IDMT: escolha segundo lista página 3/26
Ajuste Is0	
Ajuste com tempo definido	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ 15 In0 ⁽¹⁾ expressa em Ampères
Soma de TC ⁽⁵⁾	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ 15 In0
Com sensor CSH	
ajuste 2 A	0,2 A a 30 A
ajuste 20 A	2 A a 300 A
TC	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ 15 In0 (mín. 0,1 A)
Toróide com ACE990	0,1 In0 < Is0 < 15 In0
Ajuste com tempo inverso	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ In0 ⁽¹⁾ expressa em Ampères
Soma de TC ⁽⁵⁾	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ In0
Com sensor CSH	
ajuste 2 A	0,2 A a 2 A
ajuste 20 A	2 A a 20 A
TC	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ 1 In0 (mín. 0,1 A)
Toróide com ACE990	0,1 In0 ≤ Is0 ≤ In0
Resolução	0,1 A ou 1 dígito
Precisão ⁽²⁾	±5% ou ±0,01 In0
Relação de drop-out e pick-up	9,5 % ±5 % (com sensor CSH, TC ou toróide + ACE990) 93,5 % ±5 % ou > (1 - 0,015 In0/Is0) x 100 % (soma dos TCs)
Restrição à 2ª harmônica	
Ajuste fixo	17% ±5%
Temporização T (tempo de operação a 10 Is0)	
Ajuste	Tempo definido inst. 50 ms ≤ T ≤ 300 s
	Tempo inverso 100 ms ≤ T ≤ 12,5 s ou TMS ⁽³⁾
Resolução	10 ms ou 1 dígito
Precisão ⁽²⁾	Tempo definido ±2% ou de -10 ms a +25 ms
	Tempo inverso classe 5 ou de -10 ms a +25 ms
Tempo de reset T1	
Tempo definido	0; 0,05 a 300 s
Tempo inverso ⁽⁴⁾	0,5 a 20 s
Tempos característicos	
Tempo de operação	pick-up < 35 ms a 2 Is0 (típico 25 ms) instantâneo confirmado: ■ inst < 50 ms a 2 Is0 para Is0 ≥ 0,3 In0 (típico 35 ms) ■ inst < 70 ms a 2 Is0 para Is0 < 0,3 In0 (típico 50 ms)
Tempo de drop-out	< 35 ms
Tempo de reset	< 40 ms (para T1 = 0)

(1) In0 = In, se a medição for efetuada por soma das três correntes de fase.
In0 = ajuste do sensor, se a medição for efetuada com sensor CSH.
In0 = In do TC se a medição for efetuada por um transformador de corrente 1 A ou 5 A.

(2) Nas condições de referência (IEC 60255-6).

(3) Faixas de ajuste em modo TMS (Time Multiplier Setting)
Inverso (SIT) e IEC SIT/A: 0,04 a 4,20
Muito inverso (VIT) e IEC VIT/B: 0,07 a 8,33
Muito inverso (LTI) e IEC LTI/B: 0,01 a 0,93
Ext inverso (EIT) e IEC EIT/C: 0,13 a 15,47
IEEE moderadamente inverso: 0,42 a 51,86
IEEE muito inverso: 0,73 a 90,57
IEEE extremamente inverso: 1,24 a 154,32
IAC inverso: 0,34 a 42,08
IAC muito inverso: 0,61 a 75,75
IAC extremamente inverso: 1,08 a 134,4

(4) Somente para as curvas de trip normalizados tipo IEC, IEEE e IAC.

(5) Para Is0 < 0,4 In0, a temporização mínima é de 300 ms. Se for necessária uma temporização menor, utilizar a montagem TC + CSH30 ou a combinação TC + CCA634.

Equivalência TS/TC para cada protocolo

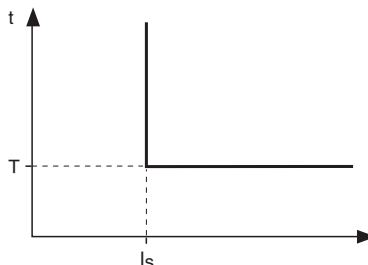
Modbus	DNP3	IEC 60870-5-103	IEC 61850
TC	Saída Binária	ASDU, FUN, INF	LN.DO.DA
TC3	BO08	20, 160, 23	LLN0.SGCB.SetActiveSettingGroup
TC4	BO09	20, 160, 24	LLN0.SGCB.SetActiveSettingGroup

Apresentação da operação da curva de trip e ajustes para funções de proteção utilizando:

- tempo definido
- IDMT
- curva de espera.

Proteção de tempo definido

O tempo de trip é constante. A temporização é iniciada quando o ajuste é ultrapassado.



Princípio da proteção de tempo definido.

Proteção IDMT

O tempo de operação depende do valor protegido (corrente de fase, corrente de fuga à terra, etc.) de acordo com as normas IEC 60255-3, BS 142 e IEEE C-37112. A operação é representada por uma curva característica, por exemplo:

- $t = f(I)$ curva para a função **sobrecorrente de fase**
- $t = f(I_0)$ curva para a função **fuga à terra**.

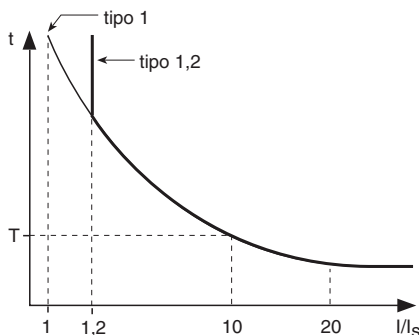
O restante do documento é baseado em $t = f(I)$; o raciocínio pode ser estendido para outras variáveis como I_0 , etc.

A curva é definida pelo:

- seu tipo (normal inverso, muito inverso, extremamente inverso, etc.)
- ajuste da corrente I_s que corresponde a assíntota vertical da curva
- temporização T que corresponde ao tempo de operação para $I = 10 I_s$.

Estes 3 ajustes são feitos cronologicamente na seguinte ordem: tipo, corrente I_s , temporização T.

Mudando o ajuste da temporização T por x % muda todos os tempos de operação na curva por x %.



Princípio da proteção IDMT.

O tempo de trip para valores I/I_s menores que 1,2 depende do tipo de curva selecionado.

Designação da curva	Tipo
Tempo normal inverso (SIT)	1, 2
Tempo muito inverso (VIT or LTI)	1, 2
Tempo extremamente inverso (EIT)	1, 2
Tempo ultra inverso (UIT)	1, 2
Curva RI	1
IEC tempo normal inverso SIT / A	1
IEC tempo muito inverso VIT or LTI / B	1
IEC tempo extremamente inverso EIT / C	1
IEEE moderadamente inverso (IEC / D)	1
IEEE muito inverso (IEC / E)	1
IEEE extremamente inverso (IEC / F)	1
IAC inverso	1
IAC muito inverso	1
IAC extremamente inverso	1

- quando o valor monitorado for superior a 20 vezes o ajuste, o tempo de trip é limitado ao valor correspondente a 20 vezes o ajuste.
- se o valor monitorado exceder a capacidade de medição do Sepam (40 In para os canais de corrente de fase, 20 In0 o canal de corrente residual), o tempo de trip é limitado ao valor correspondente ao maior valor mensurável (40 In ou 20 In0).

Curvas de corrente de trip IDMT

Múltiplas curvas de trip IDMT são acessíveis com o propósito de serem utilizadas em várias aplicações:

- Curvas IEC (SIT, VIT/LTI, EIT)
- Curvas IEEE (MI, VI, EI)
- Curvas geralmente utilizadas (UIT, RI, IAC).

Curvas IEC

Equação	Curva tipo	Valores dos coeficientes		
		k	α	β
$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta}$	Normal inverso / A	0.14	0.02	2.97
	Muito inverso / B	13.5	1	1.50
	Tempo longo inverso / B	120	1	13.33
	Extremamente inverso / C	80	2	0.808
	Ultra inverso	315.2	2.5	1

Curva RI

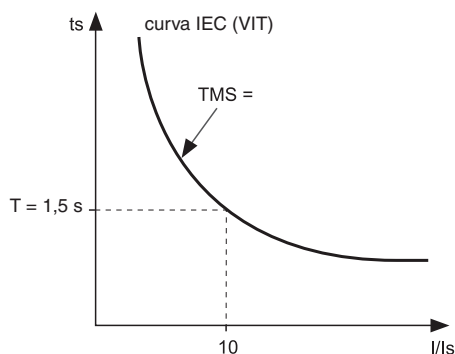
Equação:
$$t_d(I) = \frac{1}{0.339 - 0.236\left(\frac{I}{I_s}\right)^{-1}} \times \frac{T}{3.1706}$$

Curvas IEEE

Equação	Curva tipo	Valores dos coeficientes			
		A	B	p	β
$t_d(I) = \left(\frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} + B \right) \times \frac{T}{\beta}$	Moderadamente inverso	0.010	0.023	0.02	0.241
	Muito inverso	3.922	0.098	2	0.138
	Extremamente inverso	5.64	0.0243	2	0.081

Curvas IAC

Equação	Curva tipo	Valores dos coeficientes					
		A	B	C	D	E	β
$t_d(I) = \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_s} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_s} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_s} - C\right)^3} \right) \times \frac{T}{\beta}$	Inverso	0.208	0.863	0.800	-0.418	0.195	0.297
	Muito inverso	0.090	0.795	0.100	-1.288	7.958	0.165
	Extremamente inverso	0.004	0.638	0.620	1.787	0.246	0.092



Ajuste da curva de trip IDMT, temporização T ou fator TMS

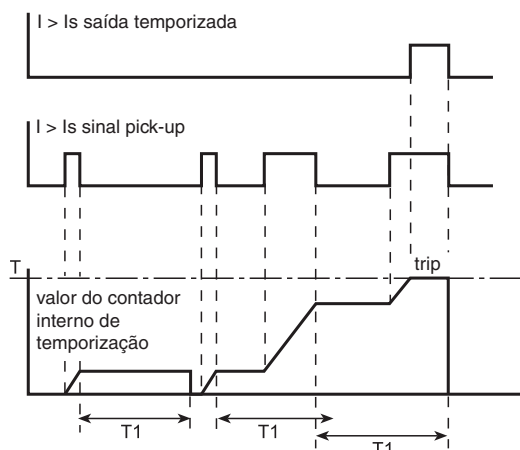
A temporização das curvas de corrente de trip IDMT (exceto para curvas personalizadas e curvas RIs) pode ser definido:

- tempo T, tempo de operação a 10 x Is
- fator TMS, fator T/β como mostrado na equação a esquerda.

Exemplo: $t(I) = \frac{13,5}{\frac{I}{I_s} - 1} \times TMS$ onde $TMS = \frac{T}{1,5}$.

A curva IEC do tipo VIT está posicionado de forma a ser a mesma que TMS = 1 ou T = 1,5 s.

Exemplo.



Detecção de defeitos reencontrados com curva de espera ajustável.

Tempo de reset

A curva de espera ajustável T1 é utilizada para:

- detecção de defeitos reencontrados (curva DT)
- coordenação com relés eletromecânicos (curva IDMT).
- a curva de espera pode ser inibida se necessário.

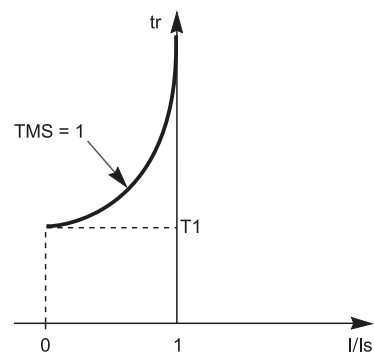
Equação para curva de espera IDMT

Equação: $t_r(I) = \frac{T1}{1 - (\frac{I}{I_s})^2} \times \frac{T}{\beta}$ onde $\frac{T}{\beta} = TMS$.

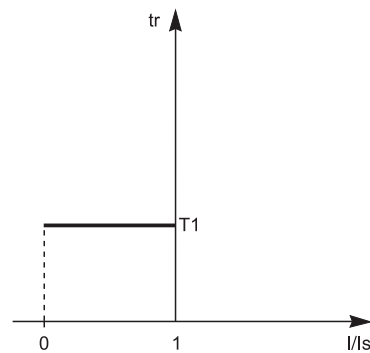
T1 = ajuste da curva de espera (curva de espera para I reset = 0 e TMS = 1)

T = ajuste da temporização de trip (a 10 Is)

b = valor da curva de trip básica a $\frac{k}{10^a - 1}$.



Tempo de reset dependente da corrente I.



Tempo de reset constante.

Implementando as curvas IDMT: exemplos de problemas resolvidos.

Problema 1.

Conhecendo o tipo de curva de tempo inverso, determinar os ajustes de corrente I_s e de tempo T . O ajuste de corrente I_s corresponde teoricamente a máxima corrente permanente: geralmente é a corrente nominal do equipamento protegido (cabo, transformador).

O ajuste de tempo T corresponde ao ponto de operação a 10 I_s da curva. Este ajuste é determinado considerando as restrições de seletividade com as proteções a montante e a jusante.

A restrição de seletividade leva a definir um ponto A da curva de operação (I_A, t_A), por exemplo, o ponto correspondente à corrente de falha máxima que afeta a proteção a jusante.

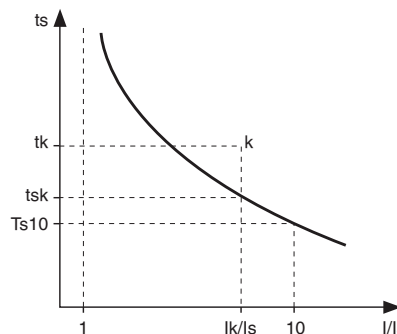
Problema 2.

Conhecendo o tipo de curva de tempo inverso, o ajuste da corrente I_s e um ponto $k (I_k, t_k)$ da curva de operação, determinar o ajuste de tempo T .

Na curva padrão de mesmo tipo, ler o tempo de operação t_{sk} correspondente à corrente relativa I_k/I_s e o tempo de operação T_{s10} correspondente à corrente relativa $I/I_s = 10$.

O ajuste de tempo a ser realizado para que a curva de operação passe pelo ponto $k(I_k, t_k)$ é:

$$T = T_{s10} \times \frac{t_k}{t_{sk}}$$



Outro método prático:

A tabela abaixo fornece os valores de $K = t_s/t_{s10}$ em função de I/I_s .

Na coluna correspondente ao tipo de temporização, ler o valor $K = t_{sk}/T_{s10}$ na linha correspondente a I_k/I_s .

O ajuste de tempo a efetuar para que a curva de operação passe pelo ponto $k (I_k, t_k)$ é: $T = t_k/k$.

Exemplo

Dados:

■ o tipo de temporização: tempo inverso (**SIT**)

■ o ajuste: I_s

■ um ponto k da curva de funcionamento: $k (3,5 I_s; 4 s)$

Pergunta: Qual é o ajuste T de tempo (tempo de operação a 10 I_s)?

Leitura da tabela: coluna **SIT**, linha $I/I_s = 3,5$, então $K = 1,858$

Resposta: O ajuste do tempo é $T = 4/1,858 = 2,15 s$

Problema 3.

Conhecendo os ajustes de corrente I_s e de tempo T para um tipo de temporização (inverso, muito inverso, extremamente inverso), encontrar o tempo de operação para um valor de corrente I_A .

Na curva padrão do mesmo tipo, ler o tempo de operação ts_A correspondente à corrente relativa I_A/I_s e o tempo de operação Ts_{10} correspondente à corrente relativa $I/I_s = 10$.

O tempo de operação t_A para a corrente I_A com os ajustes I_s e T é $t_A = ts_A \times T/Ts_{10}$.

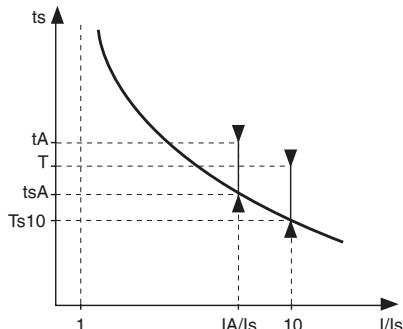


Tabela de valores de K

I/I _s	SIT e IEC/A	VIT, LTI e IEC/B	EIT e IEC/C	UIT	RI	IEEE MI (IEC/D)	IEEE VI (IEC/E)	IEEE EI (IEC/F)	IAC I	IAC VI	IAC EI
1,0	—	—	—	—	3,062	—	—	—	62,005	62,272	200,226
1,1	24,700 (1)	90,000 (1)	471,429 (1)	—	2,534	22,461	136,228	330,606	19,033	45,678	122,172
1,2	12,901	45,000	225,000	545,905	2,216	11,777	65,390	157,946	9,413	34,628	82,899
1,5	5,788	18,000	79,200	179,548	1,736	5,336	23,479	55,791	3,891	17,539	36,687
2,0	3,376	9,000	33,000	67,691	1,427	3,152	10,199	23,421	2,524	7,932	16,178
2,5	2,548	6,000	18,857	35,490	1,290	2,402	6,133	13,512	2,056	4,676	9,566
3,0	2,121	4,500	12,375	21,608	1,212	2,016	4,270	8,970	1,792	3,249	6,541
3,5	1,858	3,600	8,800	14,382	1,161	1,777	3,242	6,465	1,617	2,509	4,872
4,0	1,676	3,000	6,600	10,169	1,126	1,613	2,610	4,924	1,491	2,076	3,839
4,5	1,543	2,571	5,143	7,513	1,101	1,492	2,191	3,903	1,396	1,800	3,146
5,0	1,441	2,250	4,125	5,742	1,081	1,399	1,898	3,190	1,321	1,610	2,653
5,5	1,359	2,000	3,385	4,507	1,065	1,325	1,686	2,671	1,261	1,473	2,288
6,0	1,292	1,800	2,829	3,616	1,053	1,264	1,526	2,281	1,211	1,370	2,007
6,5	1,236	1,636	2,400	2,954	1,042	1,213	1,402	1,981	1,170	1,289	1,786
7,0	1,188	1,500	2,063	2,450	1,033	1,170	1,305	1,744	1,135	1,224	1,607
7,5	1,146	1,385	1,792	2,060	1,026	1,132	1,228	1,555	1,105	1,171	1,460
8,0	1,110	1,286	1,571	1,751	1,019	1,099	1,164	1,400	1,078	1,126	1,337
8,5	1,078	1,200	1,390	1,504	1,013	1,070	1,112	1,273	1,055	1,087	1,233
9,0	1,049	1,125	1,238	1,303	1,008	1,044	1,068	1,166	1,035	1,054	1,144
9,5	1,023	1,059	1,109	1,137	1,004	1,021	1,031	1,077	1,016	1,026	1,067
10,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10,5	0,979	0,947	0,906	0,885	0,996	0,981	0,973	0,934	0,985	0,977	0,941
11,0	0,959	0,900	0,825	0,787	0,993	0,963	0,950	0,877	0,972	0,957	0,888
11,5	0,941	0,857	0,754	0,704	0,990	0,947	0,929	0,828	0,960	0,939	0,841
12,0	0,925	0,818	0,692	0,633	0,988	0,932	0,912	0,784	0,949	0,922	0,799
12,5	0,910	0,783	0,638	0,572	0,985	0,918	0,896	0,746	0,938	0,907	0,761
13,0	0,895	0,750	0,589	0,518	0,983	0,905	0,882	0,712	0,929	0,893	0,727
13,5	0,882	0,720	0,546	0,471	0,981	0,893	0,870	0,682	0,920	0,880	0,695
14,0	0,870	0,692	0,508	0,430	0,979	0,882	0,858	0,655	0,912	0,868	0,667
14,5	0,858	0,667	0,473	0,394	0,977	0,871	0,849	0,631	0,905	0,857	0,641
15,0	0,847	0,643	0,442	0,362	0,976	0,861	0,840	0,609	0,898	0,846	0,616
15,5	0,836	0,621	0,414	0,334	0,974	0,852	0,831	0,589	0,891	0,837	0,594
16,0	0,827	0,600	0,388	0,308	0,973	0,843	0,824	0,571	0,885	0,828	0,573
16,5	0,817	0,581	0,365	0,285	0,971	0,834	0,817	0,555	0,879	0,819	0,554
17,0	0,808	0,563	0,344	0,265	0,970	0,826	0,811	0,540	0,874	0,811	0,536
17,5	0,800	0,545	0,324	0,246	0,969	0,819	0,806	0,527	0,869	0,804	0,519
18,0	0,792	0,529	0,307	0,229	0,968	0,812	0,801	0,514	0,864	0,797	0,504
18,5	0,784	0,514	0,290	0,214	0,967	0,805	0,796	0,503	0,860	0,790	0,489
19,0	0,777	0,500	0,275	0,200	0,966	0,798	0,792	0,492	0,855	0,784	0,475
19,5	0,770	0,486	0,261	0,188	0,965	0,792	0,788	0,482	0,851	0,778	0,463
20,0	0,763	0,474	0,248	0,176	0,964	0,786	0,784	0,473	0,848	0,772	0,450

(1) Valores adaptados somente para as curvas IEC A, B e C.

Outro método prático:

A tabela abaixo fornece os valores de $K = ts/Ts_{10}$ em função de I/I_s .

Na coluna correspondente ao tipo de temporização ler o valor $K = tsA/Ts_{10}$ na linha correspondente a I_A/I_s , o tempo de operação t_A para a corrente I_A com os ajustes I_s e T é $t_A = K \cdot T$.

Exemplo

Dados:

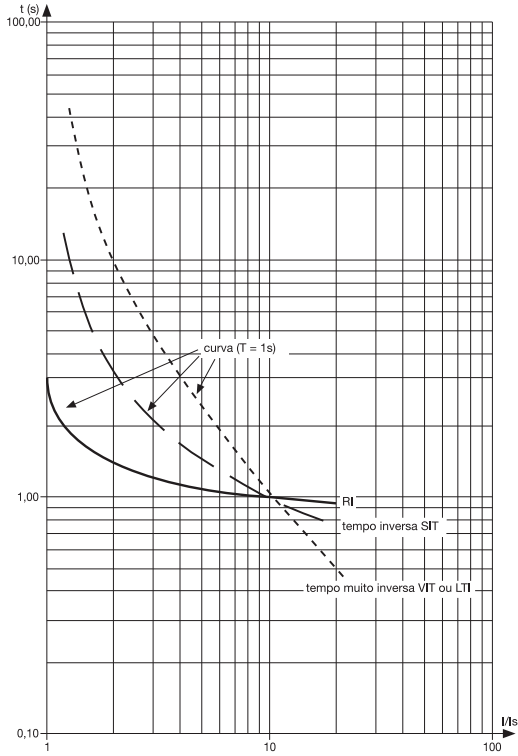
- o tipo de temporização: tempo muito inverso (VIT)
- o ajuste: I_s
- temporização $T = 0,8$ s.

Questão: Qual é o tempo de operação para a corrente $I_A = 6$ Is?

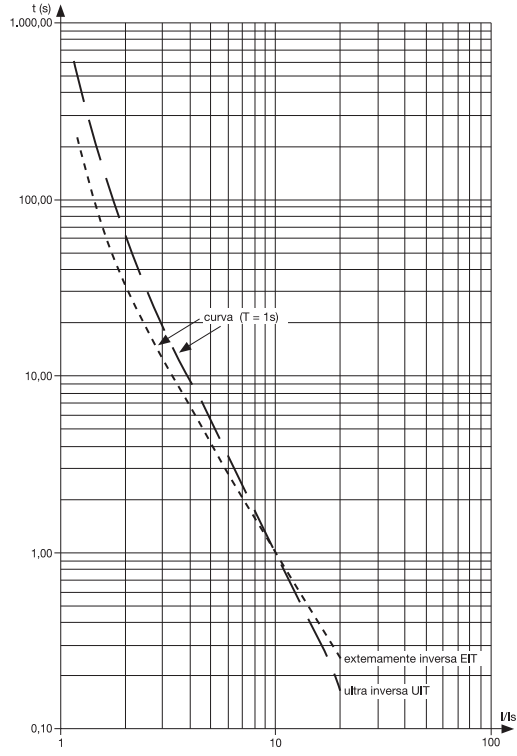
Leitura da tabela: coluna VIT, linha $I/I_s = 6$, portanto $k = 1,8$

Resposta: o tempo de operação para a corrente I_A é $t = 1,80 \times 0,8 = 1,44$ s.

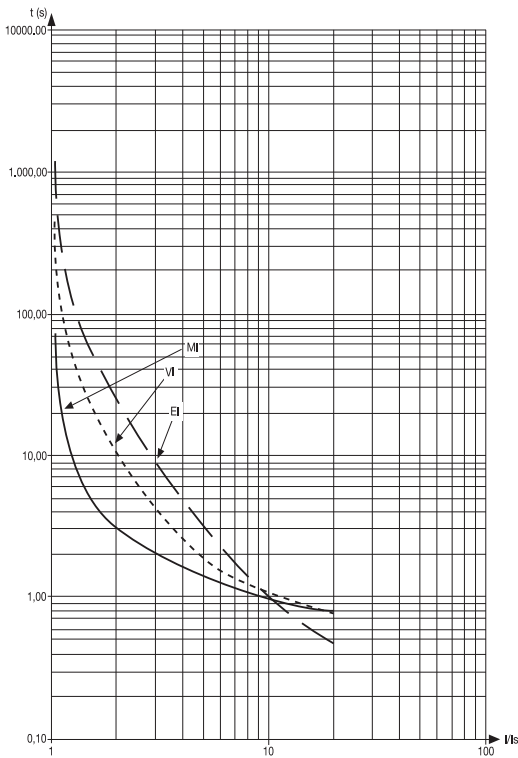
Curva inversa SIT
Curva muito inversa VIT ou LTI
Curva RI



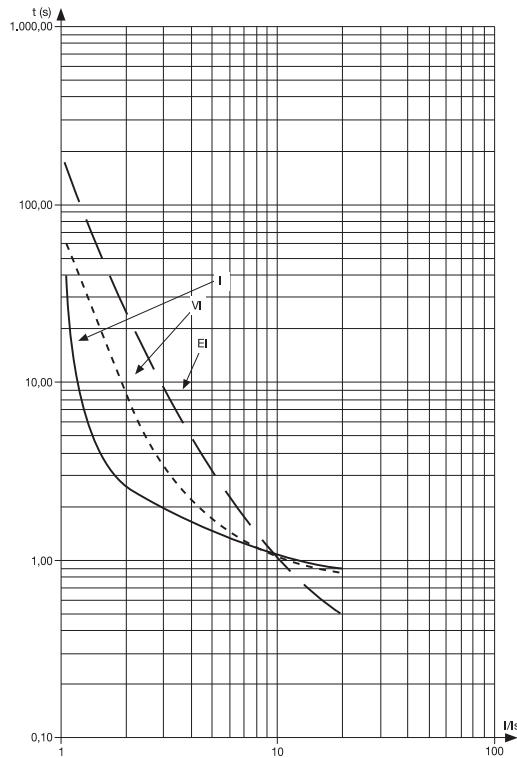
Curva extremamente inversa EIT
Curva ultra inversa UIT



Curvas IEEE



Curvas IAC



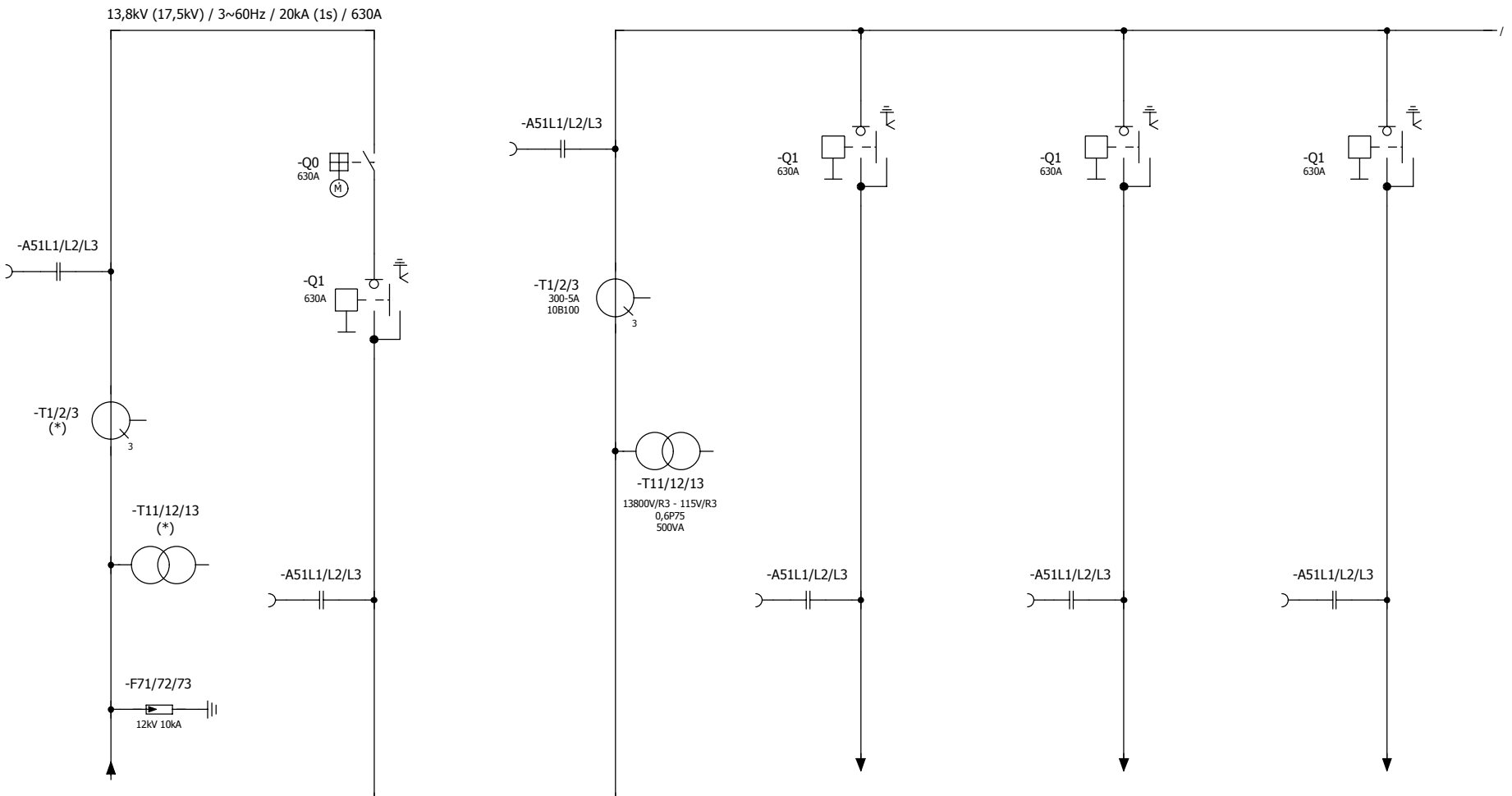
ANEXO D - UNIFILAR PROTEÇÕES

Copyright of this document and other rights to others and the use or communication of the contents thereof, are forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of the grant of a patent or the registration of a utility model or design.

A entrega a terceiros e a reprodução deste documento, assim como o uso e a revelação de seu conteúdo, são proibidos, salvo por escrito do engenheiro. Os autores não se responsabilizam por danos ou prejuízos de qualquer natureza decorrentes do uso, modismos de utilidade, modelos ou desenhos industriais, foram reservados os direitos de exclusividade.

1 2 3 4 5 6 7 8

KZ01 **KZ02** **KZ03** **KZ04** **KZ04** **KZ04**
 =K01+K01 =K02+K02 =K03+K03 =K04+K04 =K05+K05 =K06+K06



=K01 / +K01
 ENTRADA / MEDIÇÃO

=K02 / +K02
 TIE

=K03 / +K03
 TRANSIÇÃO
 DE BARRAS

=K04 / +K04
 SAÍDA 01

=K05 / +K05
 SAÍDA 02

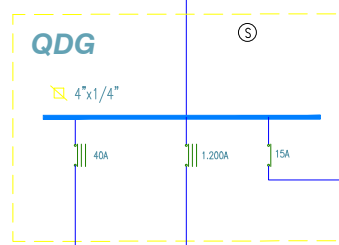
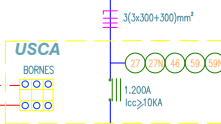
=K06 / +K06
 SAÍDA 03

(*) FORNECIMENTO DA CONCESSIONÁRIA

			DATA	22/06/2017					Número do cliente:	=
			DESEN.	T. GUISSO	ENAUT ENGENHARIA		SIEMENS		UNIFILAR	+
Z	AS BUILT	22/11/2017	T. GUISSO	PROJ.	T. GUISSO				A7B10001304804	FOLHA 6
REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	NOME	APROV.	KEITI					DE 49

ANEXO E - UNIFILAR

USCA GERADOR 750KVA
380/220V/60Hz

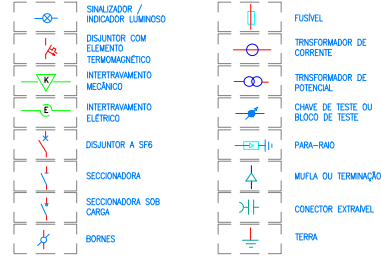


GRUPO GERADOR
 POTENCIA APARENTE: 750KVA
 REGIME: STAND BY
 TENSÃO: 380/220V
 TRIFÁSICO
 FREQUÊNCIA: 60Hz
 AUTÔNOMIA: 2 Horas

OBSERVAÇÕES:
 A USCA DEVERÁ TER AS SEGUINTE PROTEÇÕES:
 27 - SUBTENSÃO
 27N - SUBTENSÃO DE NEUTRO
 46 - DESEQUILÍBRIO DE CORRENTE DE FASE
 59 - SOBRETENSÃO
 59N - SOBRETENSÃO DE NEUTRO.

O GERADOR NÃO DEVE FUNDONAR EM PARALELO COM A COELCE E EM HIPÓTESE ALGUMA HAVERÁ CARGA EM RAMP.

SIMBOLOGIA - CUBÍCULOS



POS.	QTD.	ESPECIFICAÇÕES
01	06	PARA-RAIO DE DISTRIBUIÇÃO, RESISTOR NÃO LINEAR, ÓXIDO DE ZINCO, COM DESLIGAMENTO AUTOMÁTICO TENSÃO 12kV, NI-95kV-10kA
02	06	HASTE DE TERRA COPPERWELD 5/8"x2,40m.
03	01	MEDIDOR POLIMÉRICA EM POSTE PADRÃO COELCE (VER DETALHE)
04	04	DISPLAY PADRÃO COELCE (VER DETALHE)
05	04	MUFLA TERMINAL PARA USO EXTERNO 15kV, UNIPOLAR PARA CABO Ø35mm² XLPE, NI-95kV
06	-	CABO ISOLADO PARA MÉDIA TENSÃO ENTRADA SUBTERRÂNEA 4xØ35mm² (15kV) XLPE ou EPR
07	10	MUFLA TERMINAL PRIMÁRIA UNIPOLAR, USO INTERNO, DO TIPO COMPOSTO ELASTOMÉRICO, PARA CABO ISOLADO 35mm² COM ISOLAMENTO XLPE, TENSÃO NOMINAL 25 kV, CORRENTE NOMINAL 100A NI 95kV, INSTALADA EM CUBÍCULO COMPACTO .
08	01	SECCIONADORA SOB CARGA E CHAVE DE TERRA C/ INTERTRAVESAMENTO DE SEGURANÇA, INSTALADA EM CUBÍCULO COMPACTO PADRÃO COELCE.
09	02	CHAVE LIMITADORA DE CORRENTE TIPO HH PARA TRANSFORMADORES UR=17,5kV ; US=13,8kV ; IP=31,5A; IC=60A
10	01	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL COM COMANDO E PROTEÇÃO 1.000VA, 13.800V/115V, 25kV, NBI-95kV POTÊNCIA TÉRMICA 500VA, MODELO BDEFT10, FA: ISOLET OU A CRITÉRIO DA CONCESSIONÁRIA, INSTALADO EM CUBÍCULO COMPACTO PADRÃO COELCE.

LEGENDA CUBÍCULOS

POSICÃO	QUANT.	DESCRIÇÃO DO MÓDULO
ENTRADA DE ENERGIA	01	CUBÍCULO (CELULA) DE ENTRADA DA CONCESSIONÁRIA
PROTEÇÃO GERAL	01	CUBÍCULO DE PROTEÇÃO GERAL
BARRA DE INVERSÃO	01	CUBÍCULO PARA ELEVÇÃO PARA CONEXÃO DE LINHA DE ENTRADA
PROTEÇÃO TRAFOS 1x23	03	CUBÍCULO DE PROTEÇÃO COM SECCIONADORA

Obs. - AS CÉLULAS MODULARES SERÃO TIPO SM6-24 FAB. SCHNEIDER.
 - SERÁ UTILIZADO TECNOLOGIA DE INTERRUPTÃO A VÁCUO.

11	03	TRANSFORMADOR DE CORRENTE PARA PROTEÇÃO, RTC 300/5A, ISOLAÇÃO 25kV, TAF: 34kV, NBI 95kV, ITH: 10kA, FAT. TERM.: 1,2x In, MODELO BDE2500DN, FAB COLET OU A CRITÉRIO DA CONCESSIONÁRIA, INSTALADO EM CUBÍCULO COMPACTO PADRÃO COELCE.
12	01	NO BREAK DE 1.000VA, TENSÃO DE ENTRADA 127V, TENSÃO DE SAÍDA 115V AUTÔNOMA 2 HORAS.
13	03	TRANSFORMADOR DE CORRENTE 800/5A
14	12	FUSÍVEL 4A COMPLETO
15	04	MEDIDOR DE GRANDEZA (A-V-W-WR-WH-WAH-Itz-FF)
16	06	TRANSFORMADOR DE CORRENTE 1.200/5A
17	03	TRANSFORMADOR DE CORRENTE 600/5A
18	02	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 750 KVA, TENSÃO PRIMÁRIA 13.800V, TENSÃO SECUNDÁRIA 380/220V, COM DERIVAÇÃO 13.800/ 13.200/12.600/12.000/11.400, TRIÂNGULO PRIMÁRIO, ESTRELA COM NEUTRO ACESIVEL SECUNDÁRIO, 25kV, 60Hz, COM MESMAS CARACTERÍSTICAS DE IMPEDÂNCIA, ISOLADO A SECO, NI-110kV.
19	01	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 300 KVA, TENSÃO PRIMÁRIA 13.800V, TENSÃO SECUNDÁRIA 220/127V, COM DERIVAÇÃO 13.800/ 13.200/12.600/12.000/11.400, TRIÂNGULO PRIMÁRIO, ESTRELA COM NEUTRO ACESIVEL SECUNDÁRIO, 25kV, 60Hz, ISOLADO A SECO, NI-110kV.
20	01	DISJUNTOR TRIPOLAR MT, VÁCUO, COMANDO MANUAL, ACABAMENTO FRONTAL, MONTAGEM FIXA, 25kV, CORRENTE NOMINAL 630A, INSTALADO EM CUBÍCULO COMPACTO PADRÃO COELCE.
21	01	RELE DE PROTEÇÃO SEPAM S20 fab. SCHNEIDER, FUNÇÃO ANSI 50/51 (CURTO-CÍRCULO-FASE/FASE), 50N/51N (CURTO-CÍRCULO-FASE/NEUTRO) E MÓDULO CAPACITIVO, INSTALADO EM CUBÍCULO COMPACTO PADRÃO COELCE.
22	03	MUFLA TERMINAL PARA USO INTERNO 25kV, UNIPOLAR PARA CABO Ø35mm² XLPE, NBI-95kV, INSTALADO EM CUBÍCULO COMPACTO PADRÃO COELCE.
23	01	CHAVE LIMITADORA DE CORRENTE TIPO HH PARA TRANSFORMADORES UR=17,5kV ; US=13,8kV ; IP=12,6A; IC=30A

OBSERVAÇÕES SOBRE O QTA:

- 1) ESTE DIAGRAMA É APENAS ESQUEMÁTICO E NÃO REPRESENTA TODOS OS COMPONENTES NECESSÁRIOS PARA O QTA.
- 2) O QTA DEVERÁ SER OBRIGATORIAMENTE DO MESMO FABRICANTE DO GERADOR.

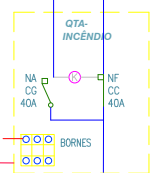
7x2,5mm² COMANDOS

3x10+10mm² QTA-INCÊNDIO

3x10+10+10mm² QTA-INCÊNDIO

7x2,5mm² COMANDOS

3x10+10+10mm² QB-INCÊNDIO



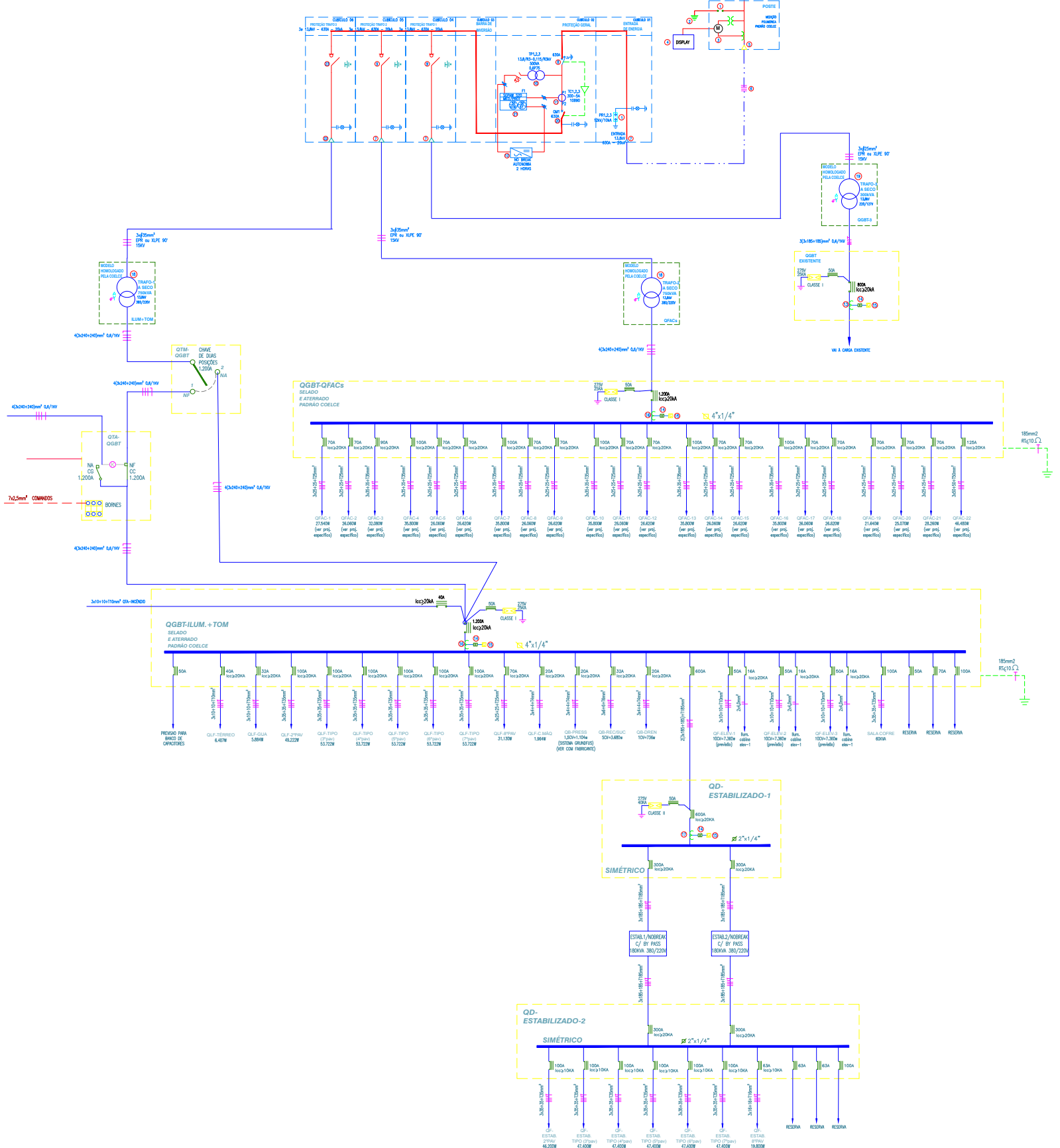
OBSERVAÇÕES SOBRE O QTA:

- 1) ESTE DIAGRAMA É APENAS ESQUEMÁTICO E NÃO REPRESENTA TODOS OS COMPONENTES NECESSÁRIOS PARA O QTA.
- 2) O QTA DEVERÁ SER OBRIGATORIAMENTE DO MESMO FABRICANTE DO GERADOR.

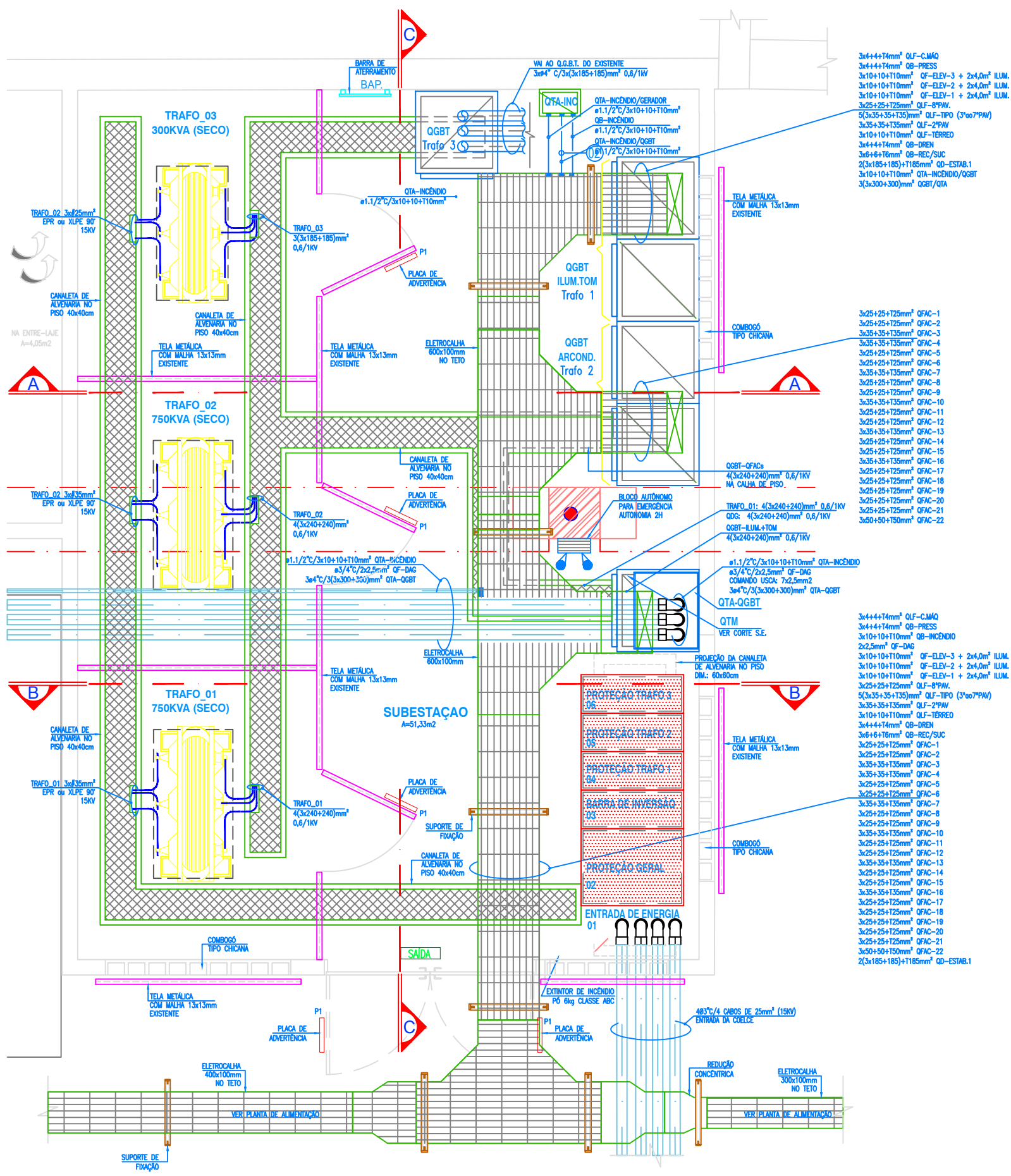
QB-INCÊNDIO
5cr + 2cv
(ver projeto específico)

DIAGRAMA UNIFILAR GERAL

REDE 13.8KV - COELCE



ANEXO F - PLANTA BAIXA SUBESTAÇÃO



PLANTA BAIXA - SUBESTAÇÃO (ALIMENTAÇÃO)
 ESCALA 1/25