



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE GOIÁS
CAMPUS ITUMBIARA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

CAMILLA ANDRADE DOS SANTOS PAIVA

**ESTUDO DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE DE UMA SUBESTAÇÃO
DESTINADA A UMA USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

**ITUMBIARA-GO
2022**



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Camilla Andrade dos Santos Paiva
Matrícula: 20181040070230

Título do Trabalho: Estudo de proteção e seletividade de uma subestação destinada a uma usina de minigeração fotovoltaica

Autorização - Marque uma das opções

1. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 30 / 06 / 2023 (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 17 / 02 / 2022.
Local Data

Camilla Andrade dos Santos Paiva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

CAMILLA ANDRADE DOS SANTOS PAIVA

**ESTUDO DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE DE UMA SUBESTAÇÃO
DESTINADA A UMA USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Itumbiara, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Área de Concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Olívio Carlos Nascimento Souto.

Coorientador: Prof. Dr. Thales Lima Oliveira

**ITUMBIARA-GO
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P149e	Paiva, Camilla Andrade dos Santos Estudo de proteção e seletividade de uma subestação destinada a uma usina de minigeração fotovoltaica. Camilla Andrade dos Santos Paiva. -- Itumbiara, 2022. 42 p. : il. color. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2022. Orientador: Prof. Dr. Olívio Carlos Nascimento Souto Coorientador: Prof. Dr. Thales Lima Oliveira 1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Geração distribuída de energia elétrica. 3. Energia - Fontes alternativas. I. Título. II. Souto, Olívio Carlos Nascimento. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. CDD 621.47
-------	--



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

Termo de Aprovação

Camilla Andrade dos Santos Paiva

ESTUDO DE PROTEÇÃO E SELETIVIDADE DE UMA SUBESTAÇÃO DESTINADA A UMA USINA DE MINIGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 17 de fevereiro de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Olívio Carlos Nascimento Souto - Orientador

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco - Membro Interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara

Prof. Dr. Thales Lima Oliveira - Membro Externo

Universidade Federal de Uberlândia

Itumbiara – GO

Documento assinado eletronicamente por:

- **Claudio Roberto Pacheco, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 22/02/2022 14:18:32.
- **Olivio Carlos Nascimento Souto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 18/02/2022 13:28:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 248248

Código de Autenticação: 1b8dc3b5b0



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Avenida Furnas, nº 55, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010

(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

Página de assinaturas



Thales Oliveira
059.084.296-00
Signatário

HISTÓRICO

- | | | |
|-------------------------|---|---|
| 22 fev 2022
14:31:02 |  | Victor Régis Bernardeli criou este documento. (E-mail: victor.bernardeli@ifg.edu.br) |
| 22 fev 2022
14:32:03 |  | Thales Lima Oliveira (E-mail: thaleslima.ufu@gmail.com, CPF: 059.084.296-00) visualizou este documento por meio do IP 177.106.124.164 localizado em Uberaba - Minas Gerais - Brazil. |
| 22 fev 2022
14:32:18 |  | Thales Lima Oliveira (E-mail: thaleslima.ufu@gmail.com, CPF: 059.084.296-00) assinou este documento por meio do IP 177.106.124.164 localizado em Uberaba - Minas Gerais - Brazil. |



AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me auxiliaram nessa etapa com mensagens de motivação nos momentos em que precisei. Agradeço também aos colegas pelos momentos de descontração durante o curso, aos amigos que fiz. Agradeço a instituição por me proporcionar a formação de técnico e, agora Engenheira Eletricista, e aos professores por nos capacitar para sermos bons profissionais.

EPÍGRAFE

Não se preocupe em ser melhor do que os outros. Coloque seu foco em se tornar melhor do que si mesmo. Essa é a competição mais importante. (Yehuda Berg)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um estudo de coordenação e seletividade da proteção para uma subestação com finalidade à inserção de uma geração distribuída por meio de energia solar, em uma rede de distribuição, junto à uma concessionária de energia elétrica. A partir da metodologia de estudo de caso foram calculados os ajustes dos elementos de proteção elétrica estabelecidos em normas nacionais e distritais para o projeto realizado. O roteiro do trabalho inicia-se com a apresentação de conceitos e teorias sobre equipamentos e dispositivos de proteção comumente utilizados em subestações. Para a definição da demanda contratada são definidos os elementos que compõem a minigeração, e assim definido a potência da subestação e o transformador a ser instalado. Em seguida, é realizado o estudo de proteção a partir de dados de conexão fornecido pela concessionária de energia elétrica do local de instalação da usina fotovoltaica. Por fim, através do coordenograma, é verificado se o sistema está seletivo e a coordenação das proteções calculadas. Pode-se concluir que as proteções calculadas atendem as normas da concessionária, protegendo assim o circuito alimentador e os dispositivos da usina, de forma coordenada evitando atuações indevidas no alimentador da concessionária.

Palavras-chave: Proteção. Coordenação. Seletividade. Subestação. Minigeração.

ABSTRACT

The present work aims to define a study of coordination and selectivity of the protection for a substation taking in account the insertion of an electric power solar energy, into a distribution grid, of an electric energy concessionaire. From the case study methodology, the adjustments of the electrical protection elements established in national and district standards for the project carried out were calculated. The work script begins with the presentation of concepts and theories about equipment and protection devices commonly used in substations. To define the contracted demand, the elements that make up the mini generation are defined, and thus the power of the substation and the transformer to be installed are defined. Then, the protection study is carried out based on connection data provided by the electric power company of the installation site of the photovoltaic plant. Finally, through the coordination chart, it is verified if the system is selective and the coordination of the calculated protections. It can be concluded that the calculated protections meet the concessionaire's standards, thus protecting the power supply circuit and the plant's devices, in a coordinated way, avoiding undue actions on the concessionaire's feeder.

Keywords: *Power System Protection, Coordination. Selectivity. Substation. Electric Power Solar Energy.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Potência instalada de geração distribuída no Brasil em agosto de 2021.	5
Figura 2 - Relé eletromecânico temporizado de sobrecorrente.	10
Figura 3 - Relé digital Siemens Reyrolle 5.	11
Figura 4 - Unifilar da UFV.	15
Figura 5 - Diagrama unifilar simplificado.	16
Figura 6 - Coordenograma de proteção.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de tensão para conexão de centrais geradoras.....	6
Tabela 2 - Requisitos mínimos em função da potência instalada.....	6
Tabela 3 - Quadro resumo da usina fotovoltaica.....	14
Tabela 4 - Nível de curto-circuito na chave de referência.....	15
Tabela 5 - Ajuste do alimentador do circuito.	16
Tabela 6 - Tempo máximo de duração do ponto ANSI do transformador.....	18
Tabela 7 - Fusível HH.	19
Tabela 8 - Resposta às condições anormais de tensão.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANSI - American National Standards Institute.

BT - Baixa Tensão ou Tensão Secundária de Distribuição.

BZ - Subestação Brazlândia.

CEB - Companhia Energética de Brasília.

EI - Curva IEC Extremamente Inversa.

GD - Geração Distribuída.

IEC - International Electrotechnical Commission.

IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers.

IEM - Intertravamento Eletromecânico.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

MI - Curva IEC Muito Inversa

MT - Média Tensão ou Tensão Primária de Distribuição.

NTD - Norma Técnica de Distribuição.

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

RN - Resolução Normativa

RTC - Relação Nominal de Transformação de Corrente.

RTP - Relação Nominal de Transformação de Potencial.

SAO - Sistema de Apoio a Operação.

SE - Subestação.

SEP - Sistema Elétrico de Potência.

SF₆ - Hexafluoreto de Enxofre.

TC - Transformador de Corrente.

TP - Transformador de Potencial.

UFV - Usina Fotovoltaica.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Objetivos.....	3
1.2	Justificativa	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	Geração Distribuída	4
2.2	Subestações.....	7
2.3	Proteção de subestação.....	8
2.3.1	Chave seccionadora	8
2.3.2	Para-raios	8
2.3.3	Disjuntor	8
2.3.4	Relé.....	9
2.3.5	Aterramento	9
2.4	Relé de Proteção.....	9
2.4.1	Histórico	9
2.4.2	Propriedades	11
3	METODOLOGIA.....	13
3.1	Projeto da subestação	13
3.2	Projeto de proteção.....	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1	Sistema de Minigeração Fotovoltaica	13
4.1.1	Placas.....	13
4.1.2	Inversores	14
4.1.3	Demanda da UFV	14
4.2	Dados da consulta de acesso	15
4.3	Dados do transformador particular.....	16
4.3.1	Corrente de magnetização	17
4.3.2	Ponto ANSI	17
4.3.3	Corrente de partida	18
4.3.4	Proteção	19
4.4	Dimensionamento do TC	19
4.4.1	1º Critério - Corrente Nominal	19
4.4.2	2º Critério - Fator de sobrecorrente	20

4.5 Dimensionamento do TP	20
4.6 Parametrização do relé de proteção.....	20
4.6.1 Unidade de sobrecorrente temporizada de fase (51)	21
4.6.2 Unidade de sobrecorrente instantânea de fase (50)	22
4.6.3 Unidade de sobrecorrente temporizada de neutro (51N).....	23
4.6.4 Unidade de sobrecorrente instantânea de neutro (50N).....	23
4.6.5 Unidade direcional de corrente (67)	24
4.6.6 Unidade de Sobretensão (59).....	25
4.6.7 Unidade de Subtensão (27).....	26
4.6.8 Unidade de Frequência (81U/O)	26
4.6.9 Unidade de sobrecorrente com restrição de tensão (51V).....	26
4.7 Coordenograma	27
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE A - FICHA DE GRADUAÇÃO DO RELÉ	33
APÊNDICE B - DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO.....	35
APÊNDICE C - DETALHES DA SUBESTAÇÃO	36
ANEXO A - TABELA ANSI	37
ANEXO B - TABELA ANSI DE NOMENCLATURA COMPLEMENTAR.....	41

1 INTRODUÇÃO

O modo de vida da sociedade moderna tem levado à uma crescente demanda por energia elétrica. Nesse cenário, as pequenas centrais geradoras localizadas próximas dos centros de consumo, denominadas de Gerações Distribuídas (GD's), tem demonstrado sua importância sob o ponto de vista energético de determinadas localidades. A geração própria de energia tem se estruturado de forma rápida em território brasileiro, sendo justificada pelas vantagens proporcionadas pela modalidade ao sistema elétrico. Entre elas, encontram-se o baixo impacto ambiental, a atenuação no carregamento das redes, redução de perdas e a diversificação da matriz energética. Entretanto, é essencial o levantamento das desvantagens que as gerações distribuídas podem ocasionar ao sistema de distribuição de energia elétrica das distribuidoras. Entre os impactos negativos da GD, encontram-se a sua influência direta na proteção e nas correntes de curto-circuito dos alimentadores da rede de distribuição. Essas ocorrências podem afetar o desempenho e a sensibilidade das proteções instaladas, portanto torna-se imprescindível o correto estudo de coordenação e seletividade entre os dispositivos de proteção do sistema construído e a rede de distribuição em que ela será inserida.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é a realização de um estudo de proteção, considerando a correta coordenação e seletividade do relé de uma subestação abaixadora responsável pela conexão de uma mini usina fotovoltaica ao sistema elétrico de distribuição em média tensão.

1.2 Justificativa

Tendo em vista a importância da proteção no sistema elétrico de potência, fica claro que subestações particulares também devem atender os requisitos exigidos em normas garantindo a sensibilidade e a confiabilidade necessárias ao sistema.

Para o presente trabalho, visando um ajuste de proteção mais completo para uma subestação, foi escolhido uma usina fotovoltaica de 1 MVA, classificada como minigeração distribuída.

A minigeração possui ramal de entrada em média tensão, e as resoluções vigentes tem como requisito mais proteções incorporadas em seu relé além das de sobrecorrente, geralmente as únicas parametrizadas em uma subestação abaixadora particular comum.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Geração Distribuída

A geração distribuída é regulamentada no Brasil desde abril de 2012 quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ANEEL, 2012). Ela viabiliza o consumidor brasileiro a gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

Em 2021, a Resolução Normativa 1000 que Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica e revoga a Resolução Normativa ANEEL nº 414 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2021). Esta resolução deverá entrar em vigor a partir de 31/03/2022 e estabelece que o estudo de proteção deve ser apresentado no momento de pedido de ligação, ao invés de ser apresentado junto ao projeto como normatizado pela Resolução 414.

A RN 1000 agrega ainda o conteúdo da Resolução 470/2011 (ouvidorias das distribuidoras), da Resolução 547/2013 (bandeiras tarifárias), da Resolução 733/2016 (Tarifa Branca) e da Resolução 819/2018 (recarga de veículos elétricos), entre outros. Com a publicação da consolidação, 61 resoluções normativas da Agência serão totalmente revogadas e três terão revogação parcial (AID, 2021).

Foi sancionada em 2022 a Lei 14.300 que institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS) (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2022). É previsto em legislação um período de transição para projetos aprovados em até 12 meses contados a partir da publicação da Lei (BADRA, 2022).

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados em até 60 meses para abater o consumo nos meses subsequentes de unidades consumidoras de uma mesma distribuidora.

Ao apresentar o projeto na concessionária é necessário definir o sistema de compensação destes créditos, são eles:

- Autoconsumo remoto - caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica ou Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras;

- Múltiplas unidades consumidoras - Condomínios residenciais ou prediais aglomerados em um mesmo espaço e propriedade;
- Geração compartilhada - caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa.

A geração distribuída é dividida devido sua potência instalada. Denomina-se microgeração distribuída aquela atribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts, e a minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW. No caso de fontes de geração fotovoltaica conectadas a rede, a (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2022) limita a potência máxima de geração a 3 MW.

A fonte de geração distribuída mais utilizada no Brasil é a proveniente de fonte solar, como podemos observar na Figura 1. Podemos também observar que a GD de fonte eólica ainda é pouco presente no país.

Figura 1 - Potência instalada de geração distribuída no Brasil em agosto de 2021.



Fonte: ABGD, 2021.

A geração compartilhada possibilita que um empreendimento comercial com várias filiais gere energia em uma “fazenda solar” por exemplo, e ainda se reunir em consórcio com outras redes. Dessa forma foi possível observar a ascensão da quantidade de mini usinas solares nos últimos anos.

As minigerações distribuídas em sua maioria, devido potência instalada, são atendidas em média tensão, sendo assim necessário que o cliente tenha uma subestação particular. A Tabela 1 abaixo, retirada da seção 3.3, item 5.1 do módulo 3 do PRODIST (ANEEL, 2017) indica que a central geradora acima de 500 kW não é mais atendida em BT.

Tabela 1 - Níveis de tensão para conexão de centrais geradoras.

Potência Instalada	Nível de Tensão de Conexão
< 10 kW	Baixa Tensão
10 a 75 kW	Baixa Tensão
76 a 150 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
151 a 500 kW	Baixa Tensão / Média Tensão
501 kW a 10 MW	Média Tensão / Alta Tensão
11 a 30 MW	Média Tensão / Alta Tensão
> 30 MW	Alta Tensão

Fonte: ANEEL, 2017.

A Tabela 2 localizada a seguir e adaptada da seção 3.7, item 4.3 do PRODIST (ANEEL, 2017), mostra a relação das proteções e do tipo de medição utilizada dependendo da potência instalada da geração.

Tabela 2 - Requisitos mínimos em função da potência instalada.

Equipamento	Potência Instalada		
	Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim

Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2017.

Sendo assim, é imprescindível a utilização de subestação abaixadora na usina, além das proteções especificadas nas normas vigentes.

2.2 Subestações

As subestações podem ter diversas funções no Sistema Elétrico de Potência. Na geração são utilizadas subestações elevadoras de tensão para adequar a tensão para a transmissão de energia. Já na transmissão, podem ser reguladoras e conversoras, e geralmente na distribuição a grande maioria são subestações abaixadoras.

As subestações abaixadoras estão presentes em indústrias, redes subterrâneas, grandes consumidores de cargas e na rede de distribuição aérea.

A maioria das subestações particulares são alimentadas em média tensão, ou tensão de distribuição primária - 13,8 kV ou 34,5 kV. Elas podem ser atendidas também em alta tensão (tensão de subtransmissão), porém o ponto de conexão geralmente é mais distante, demandando obras com custo mais elevado.

As subestações também se classificam quanto à sua instalação, sendo a subestação ao tempo aquelas cujo transformador é instalado em poste ou mancal sujeito às condições desfavoráveis de temperatura, clima e poluição exigindo manutenção mais frequente (CEB DISTRIBUIÇÃO S.A., 2013).

As subestações abrigadas são instaladas em cômodo construídos para este fim, não sujeitas a intempéries e projetadas conforme as normas das concessionárias. Já as subestações blindadas são completamente protegidas e isoladas em óleo ou em gás (ar comprimido ou SF₆).

Nas subestações são encontrados equipamentos de transformação como transformadores de potência e transformadores para instrumentos. Segundo (OLIVEIRA, 2021), são transformadores para instrumentos o transformador de corrente (TC) e o transformador de potencial (TP), com a finalidade de reduzir a corrente ou a tensão respectivamente a níveis compatíveis com os valores de suprimento de relés e medidores.

Para atuação mais segura e funcional, as SE's devem possuir equipamentos de manobra como disjuntores e chaves seccionadoras, além de equipamentos de proteção como para-raios, aterramento e relés de proteção.

2.3 Proteção de subestação

Vários equipamentos compõem a proteção de um sistema elétrico, com as subestações não é diferente. A seguir é detalhado alguns equipamentos pertencentes à proteção da subestação.

2.3.1 Chave seccionadora

É um dispositivo mecânico de manobra que na posição aberta assegura a distância de isolamento requerida pelo nível de tensão do circuito, e na posição fechada devem ser capazes de manter a condução de sua corrente nominal, sem sobreaquecimento (BONFIM, 2016).

Esse equipamento é muito importante para realização de manobras na subestação, pois garante o isolamento dos componentes do ponto de entrega em MT.

Existem diversos tipos de chave seccionadora, inclusive com fusíveis para interromper o circuito elétrico quando um valor de corrente ultrapassar um valor pré-determinado.

2.3.2 Para-raios

Os surtos de tensão podem ser de origem interna ou externa. As descargas atmosféricas são um exemplo de surtos de origem externa, já sobretensão de origem interna podem se ocasionar durante manobras de chaves seccionadoras e disjuntores.

Para proteger o sistema elétrico dos surtos de tensão, são instalados para-raios apropriados que reduzem o nível de sobretensão a valores compatíveis com a suportabilidade desses sistemas, atuando então como limitadores de tensão.

2.3.3 Disjuntor

O disjuntor de subestação tem como função a interrupção de correntes de falta de forma a limitar a um mínimo os possíveis danos aos equipamentos. Ele possui uma câmara de extinção do arco elétrico formado na interrupção e restabelecimento de corrente em um ponto. É

controlado por um comando elétrico, chamado *trip* que comanda a abertura ou fechamento de seus contatos o mais rápido possível.

2.3.4 Relé

Os relés são dispositivos cujo objetivo é monitorar as condições do sistema elétrico onde ele está inserido e, ao identificar condições anormais, dar ordem de acionamento (*trip*) para um ou mais disjuntores, retirando de operação os equipamentos ou dispositivos envolvidos com o desequilíbrio (FILHO e MAMEDE, 2013).

As condições anormais vistas por ele vão depender de um estudo de proteção, onde é definida a faixa de atuação do relé de acordo com cada caso estudado.

2.3.5 Aterramento

O aterramento é essencial para subestações pois garante que todos seus componentes estejam equipotencializados. Garantindo assim menor risco de acidentes, devido a quantidade de materiais metálicos na subestação abrigada, por exemplo. A equipotencialização faz com que os equipamentos não sofram danos, protegendo por exemplo de corrente proveniente das descargas atmosféricas que poderiam gerar explosões.

2.4 Relé de Proteção

Segundo (CAMINHA, 1977), a principal função de um sistema de proteção é assegurar a desconexão de todo sistema elétrico submetido a qualquer anormalidade que o faça operar fora dos limites previstos ou de parte dele.

2.4.1 Histórico

Os primeiros relés de proteção criados eram eletromecânicos, e são considerados hoje ainda verdadeiras peças de relojoaria de precisão. Estes relés são monofunção, sendo necessário um por fase e para cada tipo de proteção.

A Figura 2 ilustra um relé eletromecânico de sobrecorrente, que são dotados de bobinas, disco de indução, molas, contatos fixos e móveis que lhes emprestam uma grande robustez.

Figura 2 - Relé eletromecânico temporizado de sobrecorrente.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Logo depois surgiram os primeiros relés de proteção com tecnologia à base de componentes eletrônicos, chamados eletrônicos ou estáticos. Estes não alcançaram aceitação imediata no mercado, devido à forte presença dos relés eletromecânicos, que já nessa época eram fabricados com tecnologia de alta qualidade, robustez, praticidade e competitividade.

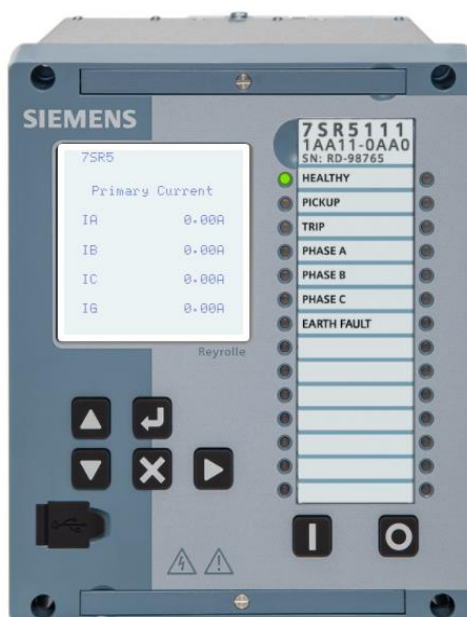
Com o desenvolvimento da microeletrônica surgiram as primeiras unidades de proteção utilizando a tecnologia digital. Mas, de acordo com (FILHO e MAMEDE, 2013) o mercado nacional não absorveu prontamente a tecnologia de proteção digital devido ao fracasso tecnológico das proteções eletrônicas, com as sucessivas falhas desses dispositivos. Porém atualmente estes dominam o mercado.

Os relés digitais são constituídos de circuitos eletrônicos providos de chips de alta velocidade de processamento. Funcionam através de programas dedicados que processam as informações que chegam pelos transformadores de medida. Atualmente são mais utilizados os relés digitais pois permitem a utilização de diversas funções em um só equipamento, além da possibilidade de acesso e sinalização remota.

Segundo (FILHO e MAMEDE, 2013), pode-se afirmar que as vantagens dos relés eletrônicos sobre os eletromecânicos foram relativamente pequenas quando comparadas com as vantagens que os relés microprocessados levam sobre os eletromecânicos e os eletrônicos.

Na Figura 3 podemos ver um relé digital Siemens, o qual foi escolhido para a integrar a subestação do presente trabalho.

Figura 3 - Relé digital Siemens Reyrolle 5.



Fonte: Siemens, 2020.

Pode-se observar a existência de LED's indicativos de faltas, *trip*, entre outros. A parametrização do relé pode ser via *display*, com os botões apresentados na imagem, ou via porta serial, onde os ajustes são inseridos no *software* da fabricante Reydisp Manager 2.

2.4.2 Propriedades

Os relés são divididos em seis categorias quanto à sua funcionalidade. Os relés de proteção detectam defeitos ou outras condições perigosas ou intoleráveis em equipamentos. Os relés de monitoração verificam as condições do sistema de potência ou do sistema de proteção. Nesta categoria incluem-se os relés detectores de falta e unidades de alarme.

Os relés de religamento estabelecem uma sequência de fechamento de um disjuntor após a sua abertura por relés de proteção. Os relés de regulação restauram os parâmetros de operação, através de equipamentos suplementares, quando os seus limites desviam de valores preestabelecidos.

Os relés auxiliares operam em resposta à abertura ou ao fechamento de um circuito para suplementar outro relé ou dispositivo. Nesta categoria estão os relés temporizadores, relés multiplicadores-de-contatos, unidades de selo, relés de bloqueio, relés de fechamento e relés de disparo. E, por último, os relés de sincronização (ou verificação de sincronismo), estes asseguram a existência de condições para interligar duas seções de um sistema de potência.

Segundo (FILHO e MAMEDE, 2013), um projeto de proteção deve considerar algumas propriedades fundamentais para se obter um bom desempenho. São elas a seletividade, zonas de atuação, velocidade, sensibilidade, confiabilidade e automação.

Assim, somente o elemento de proteção mais próximo do defeito deve desconectar a parte defeituosa do sistema elétrico. O relé deve atuar e solicitar a abertura do disjuntor somente se estiver na zona protegida e da forma mais rápida possível. Ele deve reconhecer de forma precisa a faixa de operação, cumprindo com segurança as funções de forma automatizada e com a maior exatidão que for possível.

Há uma grande variedade de funções para os relés, podendo ser classificado quanto a natureza da grandeza (corrente, tensão, etc.), quanto a função (diferencial, direcional, etc.), quanto a temporização, entre outras. Essas funções foram codificadas e reunidas em uma tabela criada pela ANSI (*American National Standards Institute*), chamada atualmente de tabela ANSI, a versão apresentada em (FILHO e MAMEDE, 2013) pode ser encontrada nos ANEXO A - Tabela ANSI e ANEXO B - Tabela ANSI de Nomenclatura Complementar.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é realizado na forma de estudo de caso, onde será definido os equipamentos da usina fotovoltaica e da subestação particular, bem como sua proteção.

3.1 Projeto da subestação

O projeto da subestação abrigada foi realizado seguindo a norma 6.05 (CEB DISTRIBUIÇÃO S.A., 2013) vigente da concessionária Neoenergia Brasília. Foi levado em consideração os elementos obrigatórios de proteção e medição, além das distâncias mínimas da edificação. Uma SE realizada de forma correta garante condições de manutenção e operação seguras e confiáveis, garantindo a vida útil de seus equipamentos.

3.2 Projeto de proteção

Foram utilizadas as funções obrigatórias nas normas de geração distribuída e da concessionária para a minigeração. Foram calculadas de acordo com os níveis de curto-circuito fornecidos pela concessionária após resposta da consulta de acesso e a potência instalada de geração. Com os resultados obtidos foi dimensionado os instrumentos de medições, e os demais elementos de proteção na unidade, como fusíveis e disjuntores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistema de Minigeração Fotovoltaica

O sistema fotovoltaico será composto por um conjunto de módulos com estrutura fixada no solo com as *strings* conectadas aos inversores.

4.1.1 Placas

Serão utilizadas 2500 placas da marca Canadian Solar modelo CS3W-400P, cuja potência máxima em cada placa é 400 Wp, totalizando assim, 1000 kWp de potência total de geração. A configuração das *strings* é composta por 25 placas em cada.

4.1.2 Inversores

Serão utilizados 50 inversores trifásicos WEG modelo SIW 500H ST020 M2 conectado em 380 V, totalizando 1 MW de geração.

O modelo escolhido é certificado pelo INMETRO, sendo assim certificado pela norma IEC 62116/2012 que garante que o modelo foi ensaiado e possui a proteção de anti-ilhamento. Serão conectadas duas *strings* em cada inversor, portanto 100 *strings* de 10 kWp.

4.1.3 Demanda da UFV

Considerando uma potência máxima de geração de 1000 kVA, a corrente demandada é calculada de acordo com a equação (1).

$$I_n = \frac{D}{V * \sqrt{3} * fp} \quad (1)$$

$$I_n = \frac{1000 \text{ kVA}}{13,8 \text{ kV} * \sqrt{3} * 0,92} = 45,475 \text{ A}$$

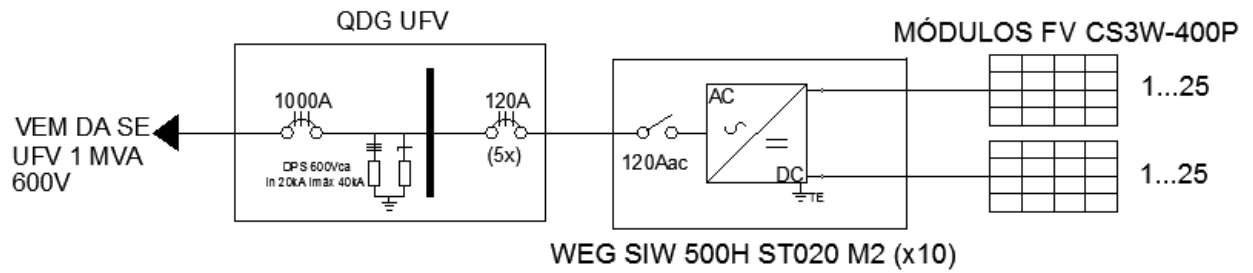
A Tabela 3 a seguir mostra um resumo dos equipamentos da usina.

Tabela 3 - Quadro resumo da usina fotovoltaica

Equipamento	Marca	Modelo	Quantidade	Strings	Potência
Módulo FV	Canadian Solar	CS3W-400P	2500	100	400 Wp
Inversor	WEG	SIW 500H ST020	50	-	20 kW

Fonte: Autoria própria, 2021.

A Figura 4 mostra um esquema da estrutura da usina de minigeração fotovoltaica a partir da subestação.

Figura 4 - Unifilar da UFV.

Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2 Dados da consulta de acesso

A resposta da consulta de acesso aberta junto a concessionária de energia elétrica da região informa que a unidade do cliente será conectada ao circuito BZ03 (SE Brazlândia) de 13,8 kV, cuja chave de referência do empreendimento é FX-4956.

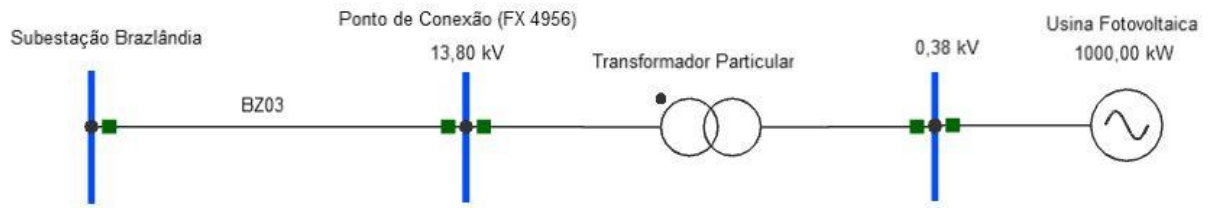
Os dados de curto-circuito estão na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Nível de curto-circuito na chave de referência.

Circuito: BZ03		Nó de Defeito : 111462 (FX-4956)	
Zcc (+): (3.67506 + j 3.64305)			
Zcc (0): (4.87011 + j 16.12742)			
CURTO TRIFÁSICO	Potência (MVA): 19.32467	Corrente (kA): 0.80849	
DUPLA FASE	Potência (MVA): 16.73565	Corrente (kA): 0.70017	
FASE TERRA	Potência (MVA): 11.35902	Corrente (kA): 0.47523	
Dupla Fase Terra:	Potência (MVA): 18.71554		
	Corrente B (kA): 0.64886	Corrente C (kA): 0.78300	
	Corrente Terra (kA): 0.32751	Tensão A (pu): 1.31880	
	Fator Sobretensão (pu) : 1.40529		

Fonte: Adaptado da Consulta de acesso C21054, Neoenergia Brasília, 2021.

Portanto a conexão pode ser representada de forma resumida pela Figura 5 abaixo.

Figura 5 - Diagrama unifilar simplificado.

Fonte: Elaboração Própria, PSP-UFU, 2021.

Foi fornecido também o ajuste do relé alimentador do circuito para devida coordenação na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Ajuste do alimentador do circuito.

Alimentador 13,8kV BZ03 da SE-BZ							
Ajuste da unidade de Fase				Ajuste das unidades de Neutro			
				N1		N2	
Relé tipo / fabricante	P123-ALSTOM	Relé tipo / fabricante	P123-ALSTOM	P123-ALSTOM	P123-ALSTOM	P123-ALSTOM	P123-ALSTOM
RTC	400/5	RTC	400/5	400/5	400/5	400/5	400/5
Tap	3,50	Tap	1,70	1,70	0,75	0,75	0,75
Dial	0,23	Dial	0,27	0,27	20,0s	20,0s	20,0s
Curva	IEC-MI	Curva	IEC-MI	IEC-MI	Tempo Definido	Tempo Definido	Tempo Definido
DI	28A	DI	14A	14A	BLQ	BLQ	BLQ
Pontos para aferição				Pontos para aferição (N1)			
Múltiplo do Pick up	A (sec)	Tempo		Múltiplo do Pick up	A (sec)	Tempo	
		Seg.	Ciclos			Seg.	Ciclos
2,00	7,00	3,11	186,6	2,00	3,40	3,65	219,0
3,00	10,50	1,55	93,0	5,00	5,10	1,82	109,2
5,00	17,50	0,78	46,8	10,00	17,00	0,41	24,6
Função 79 – Religamento Automático							
1º Religamento: 2,5s / 2º Religamento: 15s / 3º e 4º Religamentos: Bloqueados / Rearme: 60s							

Fonte: Consulta de acesso C21054, Neoenergia Brasília, 2021.

4.3 Dados do transformador particular

O transformador escolhido para compor a subestação é um WEG 1000 kVA trifásico a seco, 60 Hz, delta estrela aterrado, 13,8/0,38 kV com impedância percentual de 6%.

Assim, podemos calcular a corrente nominal através da equação (2).

$$I_n^p = \frac{S_T}{V_p * \sqrt{3}} \quad (2)$$

$$I_n^p = \frac{1000 \text{ kVA}}{13,8 \text{ kV} * \sqrt{3}} = 41,837 \text{ A}$$

O diagrama unifilar da subestação encontra-se no APÊNDICE B - Diagrama Unifilar da Subestação, onde pode-se observar toda a conexão dos equipamentos da subestação.

A estrutura física da SE pode ser encontrada no APÊNDICE C - Detalhes da Subestação por meio de vista superior e lateral, para representar a montagem da subestação da UFV.

4.3.1 Corrente de magnetização

De acordo com a (CEB DISTRIBUIÇÃO S.A., 2013), a corrente de magnetização a ser considerada para transformadores a seco de até 2000 kVA pode ser considerado igual a 12 vezes a corrente nominal do transformador, conforme equação (3).

$$I_{rush} = 12 * I_n^{trafo} \quad (3)$$

$$I_{rush} = 12 * 41,837 = 502,044 \text{ A}$$

Essa corrente de magnetização possui tempo de duração de 0,1 segundos.

A proteção não deve atuar na energização da subestação, portanto é importante plotar esse ponto no coordenograma.

4.3.2 Ponto ANSI

O ponto ANSI é calculado a partir da impedância percentual do transformador, pela equação (4) e corresponde ao máximo valor de corrente que um transformador pode suportar durante um período definido sem se danificar.

$$I_{ANSI} = \frac{100}{Z\%} * I_n^{trafo} \quad (4)$$

$$I_{ANSI} = \frac{100}{6} * 41,837 = 697,283 \text{ A}$$

No caso de faltas fase terra, esse valor é multiplicado por um fator de 0,58, conforme equação (5).

$$I_{N\text{ ANSI}} = \frac{100}{Z\%} * I_n^{\text{trafo}} * 0,58 \quad (5)$$

$$I_{N\text{ ANSI}} = 697,283 * 0,58 = 404,424 \text{ A}$$

A curva de atuação do relé deverá ficar abaixo deste ponto. Portanto para plotar no coordenograma é preciso verificar o tempo máximo de duração suportado.

Tabela 6 - Tempo máximo de duração do ponto ANSI do transformador.

Z % (Ω)	PONTO ANSI (A)	TEMPO MÁX. DE DURAÇÃO (s)
Até 4	25 x In	2
Até 5	20 x In	3
Até 6	16,6 x In	4
Até 7	14,3 x In	5

Fonte: NTD 6.05, Neoenergia Brasília, 2021.

A tabela presente na norma, indica que transformadores de até 6% suporta essa corrente por 4 segundos.

4.3.3 Corrente de partida

Os inversores de corrente contínua para corrente alternada, usados no presente trabalho, são consideradas cargas potencialmente perturbadoras.

Para evitar perturbações que comprometam a rede, a própria instalação do consumidor e o funcionamento das demais cargas alimentadas por ela devem observar a queda de tensão nos demais pontos de utilização durante a partida do motor.

De acordo com (CEB DISTRIBUIÇÃO S.A., 2013), a corrente de partida não pode ultrapassar 10% da demanda contratada, conforme equação (6).

$$I_p = 1,1 * I_n \quad (6)$$

$$I_p = 1,1 * 41,837 = 46,021 \text{ A}$$

4.3.4 Proteção

Conforme solicitado pela concessionária, a chave seccionadora da cabine de transformação deve prever fusível do tipo HH. Segundo (MESH ENGENHARIA, 2021), o dimensionamento do fusível é realizado pela multiplicação da corrente nominal do circuito por dois, assim como na equação (7).

$$I_F = I_n * 2 \quad (7)$$

Para o transformador utilizado temos que sua corrente nominal é 41,837.

$$I_F = 41,837 * 2 = 83,674 \text{ A}$$

O valor adotado deve ser o mais próximo, portando fusível HH 80A. Como pode ser constatado pela Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 - Fusível HH.

Potência Nominal (kVA)	Fusível MT - Corrente Nominal In (A)		
	15 kV	25 kV	35 kV
300	25	16	10
500	40	25	16
750	63	32	25
1000	80	50	32

Fonte: Adaptado de Mesh Engenharia, 2021.

4.4 Dimensionamento do TC

4.4.1 1º Critério - Corrente Nominal

O TC deve suportar a corrente nominal, conforme equação (8).

$$I_{TC} > I_n \quad (8)$$

$$I_{TC} > 41,837 \text{ A}$$

Portanto RTC por esse critério seria 50-5 ou 10:1.

4.4.2 2º Critério - Fator de sobrecorrente

O fator de sobrecorrente para TC's de proteção deve ser 20. A corrente de curto circuito trifásica será a informada na consulta de acesso (Tabela 4) e a corrente do TC calculada pela equação (9).

$$I_{TC} > \frac{I_{cc}^{3\phi}}{FS} \quad (9)$$

$$I_{TC} > \frac{808,49 \text{ A}}{20} = 40,4245 \text{ A}$$

Portanto RTC por esse critério seria 50-5 ou 10:1.

Comparando os dois critérios, temos que o RTC é 10.

4.5 Dimensionamento do TP

O cálculo de RTP é realizado conforme tensão de atendimento, conforme equação (10).

$$RTP = \frac{V/\sqrt{3}}{115 V/\sqrt{3}} \quad (10)$$

$$RTP = \frac{13800 \text{ kV}/\sqrt{3}}{115 V/\sqrt{3}} = 120$$

Portanto, o RTP é 120.

4.6 Parametrização do relé de proteção

Agora será realizado o estudo de proteção com os dados apresentados, visando um sistema coordenado e seletivo. Para garantir a energização do relé, a concessionária estabelece que deve haver um *no-break* com autonomia de no mínimo 2 horas para garantir confiabilidade ao sistema.

As funções possuem numeração identificando o tipo de proteção conforme ANEXO A - Tabela ANSI. As equações fazem parte do cálculo de proteção e foram retirados das normas e demais bibliografias utilizadas no presente trabalho.

4.6.1 Unidade de sobrecorrente temporizada de fase (51)

Esta função de proteção responde à corrente que flui no elemento do sistema que se quer proteger quando o módulo dessa corrente supera o valor previamente ajustado.

O relé não deve operar para a condição de carga máxima admitida, O relé deve operar de acordo com a curva de temporização para o múltiplo da corrente ajustada. A corrente de acionamento deve ser, no máximo, igual à corrente térmica do transformador de corrente.

O relé deve operar para a menor corrente de curto-circuito do trecho protegido pelo disjuntor, a corrente bifásica de curto-circuito.

A sobrecarga admissível (K_f) deve estar entre 1,2 e 1,5, será considerado 1,2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2017).

O cálculo da unidade de sobrecorrente temporizada de fase do relé é realizado pela equação (11).

$$I_t^F = \frac{K_f * I_n}{RTC} \quad (11)$$

$$I_t^F = \frac{1,2 * 41,837}{10} = 5,02 \text{ A}$$

Portanto, a corrente de acionamento temporizado de fase será 50,204 A.

O múltiplo inserido no relé é calculado conforme equação (12).

$$M = \frac{I_{cc}^{3\phi}}{I_{at}^F} \quad (12)$$

$$M = \frac{808,49}{50,204} = 16,104$$

A norma da concessionária diz que deverá ser escolhida a curva IEC muito inversa ou extremamente inversa. Neste caso foi escolhida curva muito inversa - MI (*Very Inverse* - VI), cujo cálculo se dá pela equação (13) retirada de (FILHO e MAMEDE, 2013).

$$TMS = t * \left(\frac{M - 1}{13,5} \right) \quad (13)$$

Para definir o tempo de atuação, utilizou-se o tempo de magnetização do transformador, ou seja, maior de 0,1 segundos, acrescido de um tempo de coordenação de 0,3 segundos. Portanto foi definido um tempo de atuação de 0,4 segundos.

$$TMS = 0,4 * \left(\frac{16,104 - 1}{13,5} \right) = 0,448$$

4.6.2 Unidade de sobrecorrente instantânea de fase (50)

A corrente mínima de acionamento deve ser inferior à menor corrente assimétrica de curto-circuito no trecho protegido pelo disjuntor. É usado um fator de assimetria de 1,2.

A corrente de curto-circuito assimétrica então é calculada pela equação (14).

$$I_{CCA} = F_{ass} * I_{cc}^{2\phi} \quad (14)$$

$$I_{CCA} = 1,2 * 700,17 = 840,204 \text{ A}$$

Deve ser calculado o fator a partir da corrente encontrada e a corrente de ajuste temporizada de fase, conforme equação (15).

$$F < \frac{I_{CCA}}{I_{at}^F} \quad (15)$$

$$F < \frac{840,204}{50,204} = 16,73$$

De acordo com (FILHO e MAMEDE, 2013), deve ser usado um fator de ajuste de 60 a 90% do valor calculado. Portanto $F = 12$, que corresponde a um ajuste de cerca de 72%.

A corrente instantânea de fase será calculada pela equação (16).

$$I_i^F = F * I_t^F \quad (16)$$

$$I_i^F = 12 * 5,02 = 60,245$$

Portanto, a corrente de acionamento instantâneo de fase será 602,452 A.

4.6.3 Unidade de sobrecorrente temporizada de neutro (51N)

A menor corrente de curto-circuito nesse trecho é a resultante de um defeito monopolar à terra com elevada impedância. Já a corrente mínima de acionamento deve ser superior à corrente de magnetização do transformador.

O fator de desequilíbrio (K_n) deve estar entre 0,1 e 0,3. Portanto será usado 0,2.

O cálculo de ajuste de neutro é calculado pela equação (17).

$$I_t^N = \frac{K_n * I_n}{RTC} \quad (17)$$

$$I_t^N = \frac{0,2 * 41,837}{10} = 0,837 \text{ A}$$

Portanto, a corrente de acionamento temporizado de neutro será 8,367 A.

O múltiplo inserido no relé é calculado pela equação (18).

$$M = \frac{I_{cc}^{\phi}}{I_{at}^N} \quad (18)$$

$$M = \frac{475,23}{8,367} = 56,795$$

A norma da concessionária diz que deverá ser escolhida a curva IEC muito inversa ou extremamente inversa. Neste caso também foi escolhido curva IEC muito inversa - MI (*Very Inverse* - VI).

Foi definido um tempo de atuação de 0,2 segundos para uma seletividade temporal de 0,2 segundos entre as proteções de fase e neutro.

$$TMS = 0,2 * \left(\frac{56,795 - 1}{13,5} \right) = 0,827$$

4.6.4 Unidade de sobrecorrente instantânea de neutro (50N)

Como na proteção de fase, é usado um fator de assimetria de 1,2.

A corrente de curto-circuito assimétrica de neutro é dada pela equação (19).

$$I_{CCA} = F_{ass} * I_{cc}^{\phi} \quad (19)$$

$$I_{CCA} = 1,2 * 475,23 = 570,276 A$$

Deve ser calculado o fator a partir da corrente encontrada e a corrente de ajuste temporizada de neutro, conforme equação (20).

$$F < \frac{I_{CCA}}{I_{at}^N} \quad (20)$$

$$F < \frac{570,276}{8,367} = 68,158$$

De acordo com (FILHO e MAMEDE, 2013), deve ser usado um fator de ajuste de 60 a 90% do valor calculado. Portanto $F = 48$, que corresponde a um ajuste de cerca de 70%.

A corrente instantânea de neutro será calculada pela equação (21).

$$I_i^N = F * I_t^N \quad (21)$$

$$I_i^N = 48 * 0,837 = 40,163 A$$

Portanto, a corrente de acionamento instantâneo de fase será 401,635 A.

4.6.5 Unidade direcional de corrente (67)

Inicialmente, devemos calcular o ângulo da corrente de falta, para isso será utilizada a impedância de curto-circuito de sequência positiva informada pela concessionária e a equação (22) abaixo retirado de (OLIVEIRA, 2021).

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{X}{R} \quad (22)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{3,64305}{3,67506} \right) = 44,7483^\circ$$

Portanto a corrente de curto-circuito trifásico será $1 \angle -44,75^\circ pu$.

A função direcional deve coordenar com a função temporizada de sobrecorrente de fase, portanto, será utilizado uma seletividade temporal de 0,2. Para isso será utilizado a equação (11).

$$I_{direcional}^F = \frac{1,2 * 41,837}{10} = 5,02 \text{ A}$$

Portanto, a corrente de acionamento direcional de fase será 50,204 A.

O múltiplo inserido no relé será definido pela equação (23).

$$M = \frac{I_{cc}^{3\phi}}{I_{a direcional}^F} \quad (23)$$

$$M = \frac{808,49}{50,204} = 16,104$$

Considerando ainda a curva muito inversa, o dial será

$$TMS = 0,2 * \left(\frac{16,104 - 1}{13,5} \right) = 0,224$$

Será utilizado a tensão de polarização com conexão em 90° (quadratura) e ângulo de torque máximo característico 45° no sentido reverso, garantindo a maior sensibilidade para a corrente de curto-circuito.

4.6.6 Unidade de Sobretensão (59)

De acordo com a Tabela 8 retirado de (CEB DISTRIBUIÇÃO S.A., 2016), que trata de geração distribuída, a sobretensão admitida é 10% acima da nominal por um tempo de 0,2 segundos.

Tabela 8 - Resposta às condições anormais de tensão.

Tensão no ponto de conexão comum (% em relação à Vnominal)	Tempo máximo de desligamento
$V < 80 \%$	0,4 s
$80 \% \leq V \leq 110 \%$	Regime normal de operação
$110 \% < V$	0,2 s

Fonte: NTD 6.09, Neoenergia Brasília, 2021.

A tensão de parametrização do relé será:

$$V_{59} = \frac{13800 * 1,1}{120} = 126,5 \text{ V}$$

4.6.7 Unidade de Subtensão (27)

Ainda conforme a Tabela 8, a subtensão admitida é 20% abaixo da nominal por um tempo de 0,4 segundos. Assim, a tensão inserida ao relé será:

$$V_{27} = \frac{13800 * 0,8}{120} = 92 \text{ V}$$

4.6.8 Unidade de Frequência (81U/O)

Conforme (CEB DISTRIBUIÇÃO S.A., 2016), quando a frequência da rede assumir valores abaixo de 57,5 Hz, o sistema de geração distribuída deve cessar o fornecimento de energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 59,9 Hz.

Quando a frequência da rede ultrapassar 62 Hz, o sistema de geração distribuída deve cessar de fornecer energia à rede elétrica em até 0,2 s. O sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede quando a frequência retornar para 60,1 Hz.

4.6.9 Unidade de sobrecorrente com restrição de tensão (51V)

Esta proteção é realizada pela aplicação de um fator sobre o valor de tensão nominal do sistema. Seguindo as orientações da concessionária, e aplicando-se um fator de 90%, tem-se pela equação (24) abaixo o valor da tensão restritiva.

$$V_{51V} = \frac{0,9 * V_n}{RTP} \quad (24)$$

$$V_{51V} = \frac{0,9 * 13800}{120} = 103,5 \text{ V}$$

4.7 Coordenograma

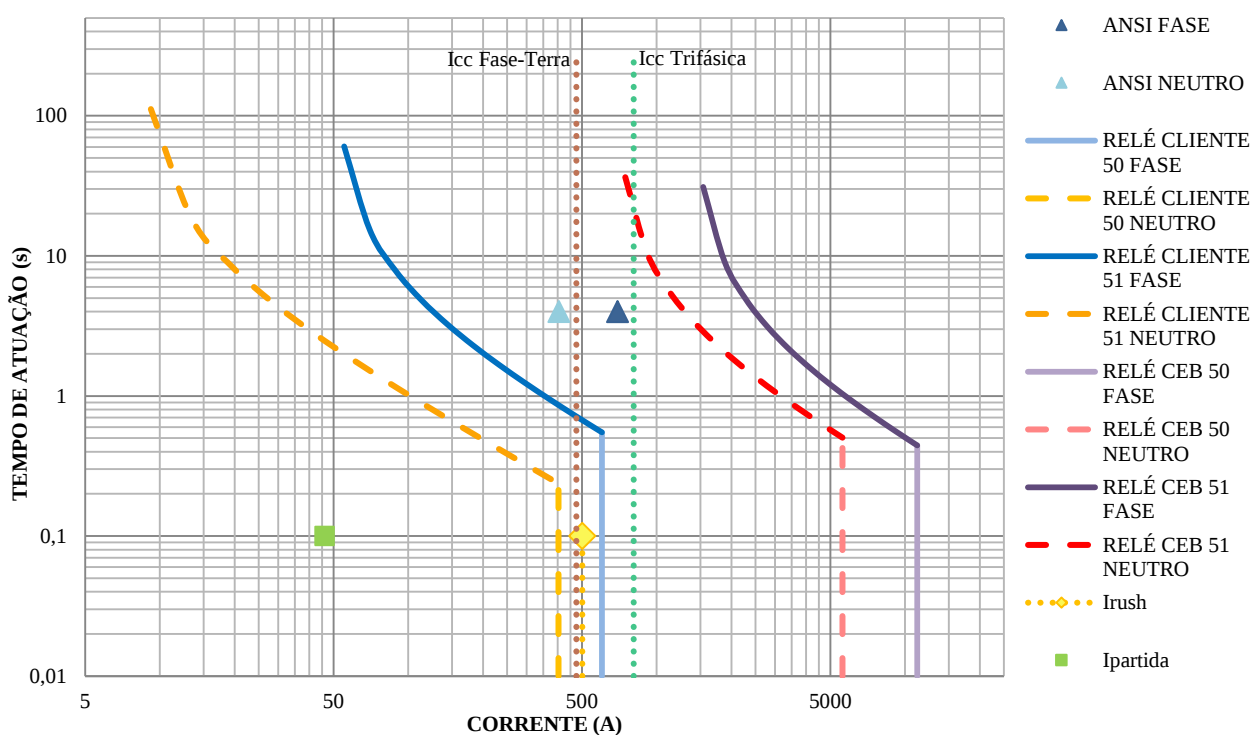
O coordenograma consiste num gráfico di-log tempo x corrente onde são plotadas as curvas IEC da proteção de sobrecorrente para melhor visualização da proteção, coordenação e seletividade.

Os valores utilizados para a plotagem do gráfico podem ser consultados no resumo das proteções parametrizadas contido no

APÊNDICE A - Ficha de graduação do relé que é entregue à concessionária para conferência da proteção da subestação particular.

Na Figura 6 é apresentado o coordenograma com os ajustes, realizado em Excel, além de alguns valores para facilitar a análise, como as correntes de curto-circuito a corrente I_{rush} e ponto ANSI do transformador.

Figura 6 - Coordenograma de proteção.



Fonte: Elaboração Própria, 2022.

Na Figura 6 pode-se observar que a função de sobrecorrente de fase do relé da subestação particular atua depois da I_{rush} do transformador, atuando corretamente. Seguindo com essa mesma proteção, é possível observar que ainda pode-se reduzir o dial de tempo, com isso a atuação da função temporizada pode atuar cerca de 0,4 segundos mais rápido que o

calculado nesse trabalho. Isso possibilita uma seletividade amperimétrica maior em relação a proteção da concessionária.

Em relação aos curtos-circuitos no ponto de entrega, pode-se observar que a proteção de neutro atua para a menor corrente de defeito, o curto-circuito monofásico à terra. E a proteção de fase atua para a maior corrente de defeito, o curto-circuito trifásico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo de caso refere-se a análise de um estudo de proteção aplicado a uma subestação particular considerando as normas vigentes no momento em que este trabalho é realizado, fixando conceitos de proteção do sistema elétrico e exemplificando um estudo de proteção destinado a uma minigeração distribuída de fonte solar.

Inicialmente, foi apresentado algumas normas que regulamentam a geração distribuída, bem como o cenário da energia solar fotovoltaica no Brasil com dados recentes. Logo após, foram apresentados os equipamentos existentes em uma subestação e o histórico dos relés de proteção, explicando a metodologia a ser utilizada neste estudo de caso.

Foi apresentado os equipamentos existentes na usina de minigeração fotovoltaica e sua configuração, determinando assim o transformador necessário e o dimensionamento dos instrumentos de medição.

Em relação aos estudos de proteção, foi parametrizado as funções necessárias estabelecidas nas normas brasileiras de geração distribuída e da concessionária, a partir dos níveis de curto-circuito informados pela concessionária e definidos os ajustes do relé. Ressalta-se que os estudos de proteção são de responsabilidade do consumidor, e devem ser elaborados de maneira a garantir a integridade e segurança no ponto de conexão e na área de influência do sistema acessado da concessionária.

Em subestações particulares, geralmente são parametrizados somente as proteções de sobrecorrente. Já na geração distribuída, há fluxo de corrente bidirecional, por isso a subestação aplicada a este fim é mais completa e melhor para aplicação dos conceitos de proteção, pois abrange diversas outras funções de proteção que pode ser aplicada em um relé.

Portanto, a análise adequada do nível de tensão e carregamento do alimentador do circuito de distribuição, é necessária para verificar se a inserção do sistema de geração distribuída provocará falhas ao sistema elétrico. No estudo de caso, foi priorizada a atuação rápida dos dispositivos de proteção, frente às máximas correntes de curto-circuito no ponto de entrega.

Por fim, pode-se concluir que o estudo de caso teve sua finalidade atingida aplicando os conceitos de proteção, coordenação e seletividade em um sistema real, garantindo o entendimento do assunto além dos critérios para parametrização e o funcionamento dos equipamentos presentes no sistema.

REFERÊNCIAS

ABDG. Dados Mercado. **Associação Brasileira de Geração Distribuída**, 2021. Disponível em: <<https://www.abgd.com.br/portal/dados-mercado/>>. Acesso em: Novembro 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa ANEEL Nº 1.000. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**, 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso em: Janeiro 2022.

AID. Resolução 1000 da ANEEL consolida direitos e deveres dos consumidores de energia. **ANEEL**, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/resolucao-1000-da-aneel-consolida-direitos-e-deveres-dos-consumidores-de-energia/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: Janeiro 2022.

ANEEL. Geração Distribuída. **Resolução Normativa Nº 482**, 17 Abril 2012. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: Fevereiro 2021.

ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. **Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**, Junho 2017. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/modulo-3>>. Acesso em: Março 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5356-7 - Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante**.

BADRA, Mateus. Lei 14.300: Principais mudanças do Marco Legal da GD. **Canal Solar**, 2022. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/lei-14-300-principais-mudancas-do-marco-legal-da-gd/>>. Acesso em: Fevereiro 2022.

BONFIM, Marcelo. Power Energy Solutions. **Linkedin**, 2016. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/chaves-seccionadoras-o-que-sao-quais-os-tipos-marcelo-bonfim/>>. Acesso em: Abril 2021.

CAMINHA, Amadeu C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos.**

CEB DISTRIBUIÇÃO S.A. Norma Técnica de Distribuição 6.05: FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM TENSÃO PRIMÁRIA DE DISTRIBUIÇÃO, agosto 2013.

Disponível em: <<http://www.ceb.com.br/index.php/servicos/informacoes-ceb-separator/padrao-de-entrada-e-geracao-distribuida>>. Acesso em: fevereiro 2021.

CEB DISTRIBUIÇÃO S.A. Norma técnica de Distribuição 6.09. **Requisitos para conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEB-D. - Conexão em Baixa e Media Tensão**, 2016. Disponível em: <<http://www.ceb.com.br/index.php/servicos/informacoes-ceb-separator/padrao-de-entrada-e-geracao-distribuida>>. Acesso em: Fevereiro 2021.

FILHO, João M.; MAMEDE, Daniel R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência.**

LOPES, Lana G. S. **Elaboração de um projeto de proteção de uma indústria de papel e celulose.** Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2017.

MARDEGAN, Cláudio S. **Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais.** 1ª. ed.

MESH ENGENHARIA. Fusível HH. **Instagram**, 2021. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/CTHZnUQtIEM/?utm_medium=copy_link>. Acesso em: Agosto 2021.

NEOENERGIA Brasília. Disponível em: <<https://www.neoenergiabrasilia.com.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: Dezembro 2021.

OLIVEIRA, Ane C. M. D. **Estudos de Proteção e Seletividade sob a Perspectiva de Minigeração Fotovoltaica.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2019.

OLIVEIRA, Thales L. Plataforma de Sistemas de Potência da Universidade Federal de Uberlândia - PSP-UFU. **Github**, 2017. Disponível em: <<https://thales1330.github.io/PSP/pt/>>. Acesso em: Fevereiro 2021.

OLIVEIRA, Thales L. **Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Itumbiara. 2021.

PEXTRON. TABELA DE NUMERAÇÕES E FUNÇÕES (AMERICAN STANDARD C37.2-1991). **Tabela ANSI**. Disponível em:

<<https://www.pextron.com/arquivos/Tabela%20ANSI%201d%20v002.pdf>>. Acesso em: Março 2021.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. LEI Nº 14.300, 2022. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm>. Acesso em: Janeiro 2022.

SIEMENS. Reyrolle 5, 2019. Disponível em:

<<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/energia/protecao-sistemas-eletricos/reyrolle-5.html>>. Acesso em: Agosto 2021.

SIEMENS. 7SR511 - Overcurrent Protection Relay. **Virtual relay**, 2020. Disponível em:

<<https://virtualrelay.net/7SR511.php>>. Acesso em: Setembro 2021.

SOLAR, Canadian. Módulo CS1U-400MS, 2020. Disponível em:

<https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiDM_CS1U-MS_EN.pdf>. Acesso em: Agosto 2021.

WEG. Transformador Seco 1000.0kVA 13.8/0.38kV CST IP-00 AN, 2019. Disponível em:

<<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Transformadores-a-Seco/M%C3%A9dio-%28At%C3%A9-3-000-kVA%29/Transformador-Seco-1000-0kVA-13-8-0-38kV-CST-IP-00-AN/p/14543087>>. Acesso em: Junho 2021.

WEG. Inversor String SIW500H, 2020. Disponível em:

<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Inversores-Solares-Fotovoltaicos/Inversor-String-SIW500H/Inversor-String-SIW500H/p/MKT_WDC_BRAZIL_INVERTERSTRING_SIW500H>. Acesso em: Agosto 2021.

APÊNDICE A - FICHA DE GRADUAÇÃO DO RELÉ

SOLICITAÇÃO DE AFERIÇÃO DA PROTEÇÃO PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD)

DESCRIÇÃO DO(S) EQUIPAMENTO(S) INSTALADO(S)			
RELÉ	FABRICANTE: SIEMENS	MODELO: 7SR5111	TC: 50 / 5 A
TENSÃO DE SAÍDA DO NOBREAK INSTALADO:			TP: 13800 / 115 V

PERFIL DE POTÊNCIA INSTALADA DA MICRO/MINIGERADORA DISTRIBUÍDA		
$\leq 75 \text{ kW}$ ☐	$> 75 \text{ kW ou } \leq 500 \text{ kW}$ ☐	$> 500 \text{ kW ou } \leq 5 \text{ MW}$ ☒
FONTE DE GERAÇÃO: SOLAR	POTÊNCIA CONSUMO: 30kW	POTÊNCIA GERAÇÃO: 1000kW
INSTRUÇÕES: Se Potência de geração $\leq 500 \text{ kW}$ – preencher os AJUSTES das funções 50, 50N, 51 e 51N apenas, obrigatoriamente; Se Potência de geração $> 500 \text{ kW}$ preencher os AJUSTES DOS RELÉS 1 e 2, obrigatoriamente		

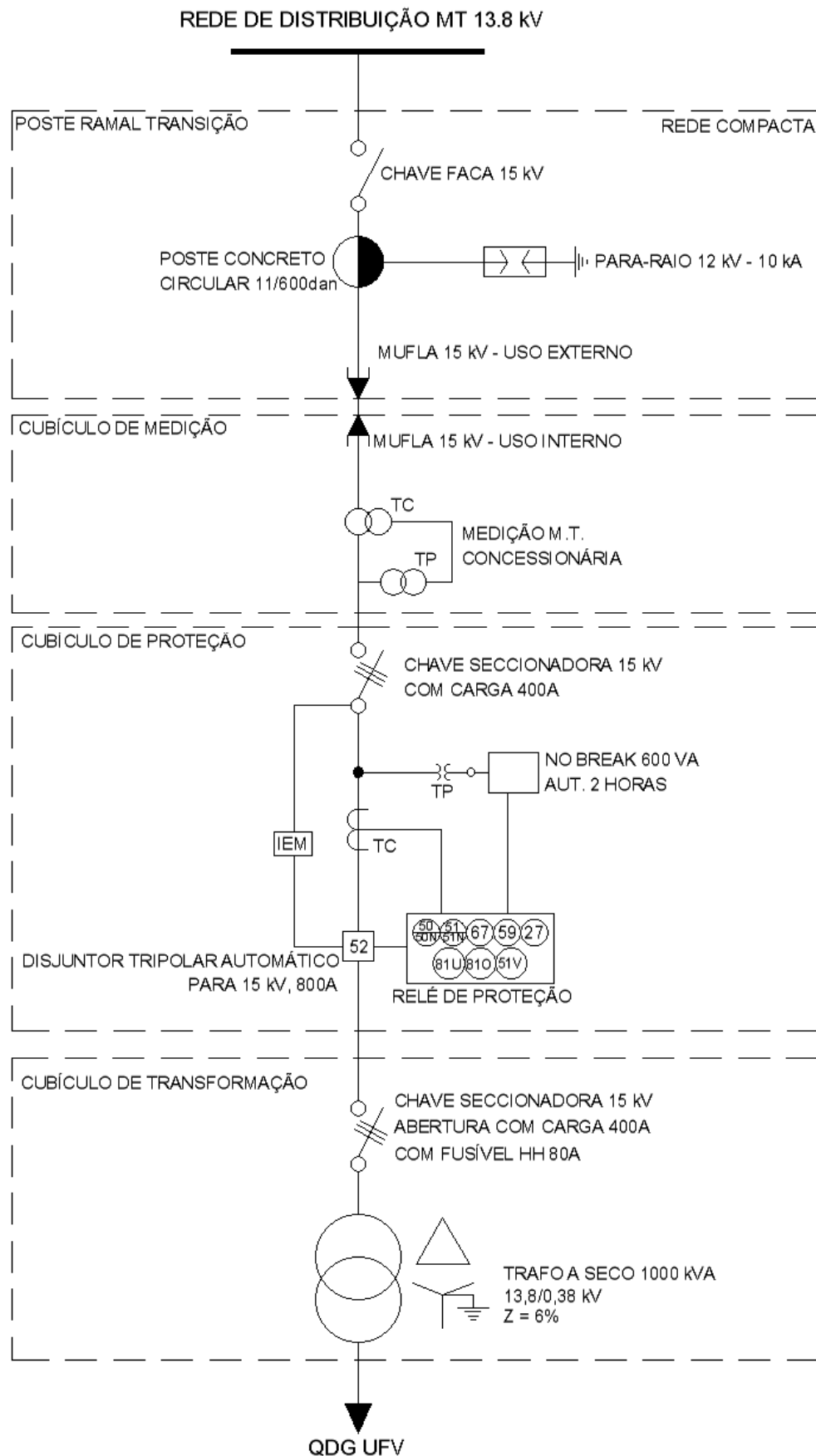
DESCRIÇÃO DE ELEMENTOS		
<i>(Requisitos mínimos dispostos na seção 3.7 do PRODIST – Módulo 3)</i>		
ELEMENTO DE DESCONEXÃO (Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema, exceto para microgeradores e minigeradores que se conectam à rede através de inversores)	☐ CHAVE SECC C/ ELO FUSÍVEL ☐ CHAVE FACA AÉREA ☒ CHAVE SEC. ABRIGADA	
ELEMENTO DE INTERRUPÇÃO (Disjuntor de MT, com bobina de disparo para abertura. Elemento de interrupção automático acionado por proteção para microgeradores distribuídos e por comando e/ou proteção para minigeradores distribuídos)	MODELO DO DISJUNTOR: INSTALAÇÃO: ☐ CUBICULO BLINDADO ☒ CONVENCIONAL Tensão da bobina de abertura:	
RELAÇÃO DOS TRANSFORMADORES DE CORRENTE (RTC) – Os TC's devem atender a norma NBR-6856/2015 devendo ser ligados em enrolamento de proteção com característica melhor ou igual à 5VA 10P20. É de responsabilidade do projetista o correto dimensionamento dos cabos secundários para que os TC's não saturem, podendo o projetista, aumentar a potência do secundário caso necessário. 20x da I nominal.	FASE: 10	NEUTRO: 10
RELAÇÃO DO TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (RTP)	FASE: 120	NEUTRO: 120

AJUSTES DO RELÉS 1			
		FASE	NEUTRO
51 (Tempo)	Corrente de partida (pick-up) da unidade temporizada direcional ($ip >$)	50,204	8,367
	Curva de sobrecorrente direcional temporizada, referenciada a norma	NORMA: IEC	NORMA: IEC
		CURVA: VI	CURVA: VI
	Dial de tempo (deslocamento da curva)	0,448	0,827
51 (tempo definido)	Elemento de atuação com sobrecorrente direcional definida ($ip >>$)	-	-
	Elemento de atuação com tempo definido ($t >>$)	-	-
50	Sobrecorrente direcional instantânea (I_{inst})	602,452	401,635

AJUSTES DO RELÉS 1 (Requisitos mínimos dispostos na seção 3.7 do PRODIST – Módulo 3)				
FUNÇÃO	PARÂMETRO	RELÉ DE PROTEÇÃO ESPECÍFICO? (além do inversor)	AJUSTES	
			FASE-TERRA	TEMPO
27	Tensão mínima de atuação por Subtensão	SIM ☒ NÃO ☐	92	0,4
59	Tensão máxima da atuação por Sobreensão	SIM ☒ NÃO ☐	126,5	0,2
81U	Subfrequência de atuação [Hz]	SIM ☒ NÃO ☐	57,5	0,2
81O	Sobrefrequência de atuação [Hz]	SIM ☒ NÃO ☐	62	0,2

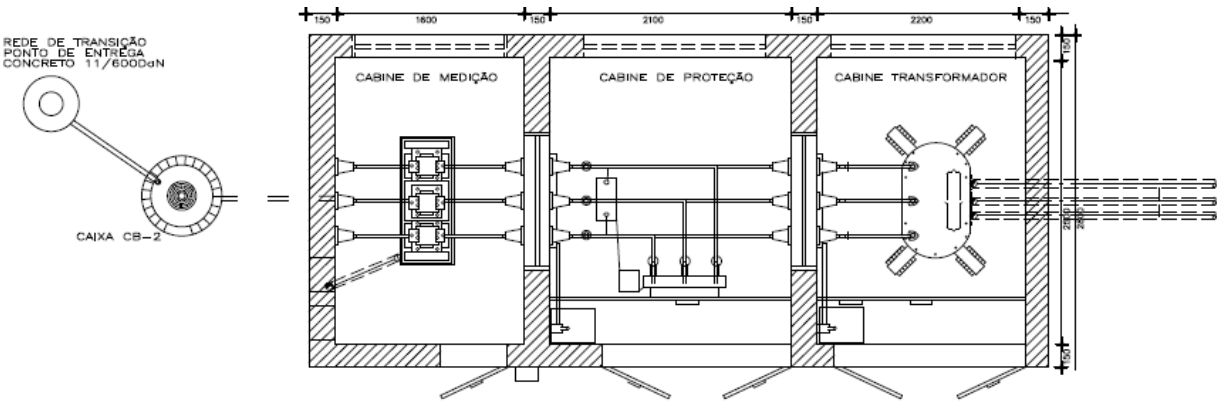
AJUSTES DO RELÉ 2 Estas funções devem constar em relés específicos, não nos inversores (Requisitos mínimos dispostos na seção 3.7 do PRODIST – Módulo 3)					
FUNÇÃO	PARÂMETRO	AJUSTES para curto na rede da CEB		AJUSTES para curto no ACESSANTE	
		FASE	NEUTRO	FASE	NEUTRO
67 (Tempo)	Corrente de partida (pick-up) da unidade temporizada direcional ($ip >$)	50,204	-	-	-
	Curva de sobrecorrente direcional temporizada, referenciada a norma	NORMA: IEC	NORMA: IEC	NORMA: IEC	NORMA: IEC
		CURVA: VI	CURVA:	CURVA:	CURVA:
	Dial de tempo (deslocamento da curva)	0,224	-	-	-
67 (tempo definido)	Elemento de atuação com sobrecorrente direcional definida ($ip >>$)	-	-	-	-
	Elemento de atuação com tempo definido ($t >>$)	-	-	-	-
67	Sobrecorrente direcional instantânea (I_{inst})	-	-	-	-

APÊNDICE B - DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO

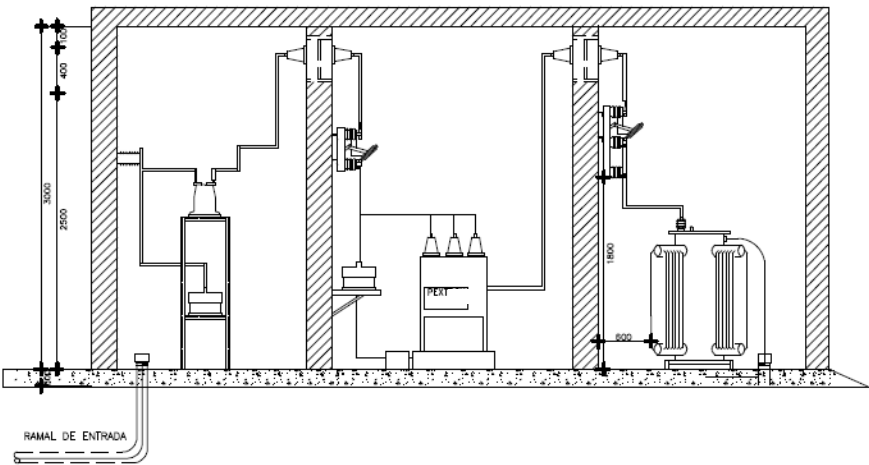


APÊNDICE C - DETALHES DA SUBESTAÇÃO

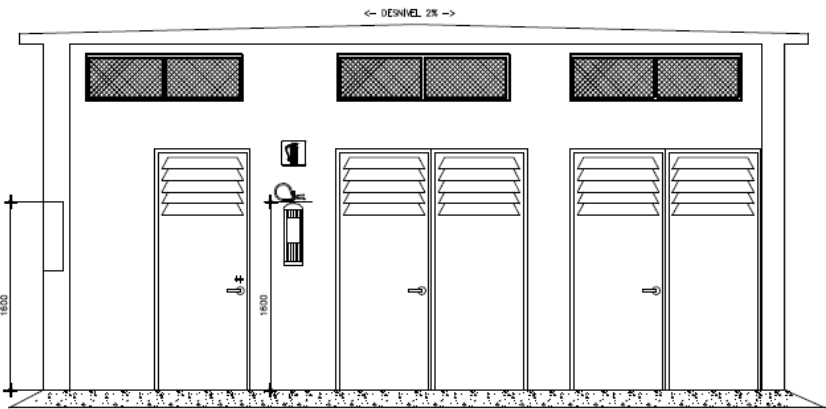
Vista Superior



Vista Lateral



Vista Externa



ANEXO A - TABELA ANSI

Código	Função
1	Elemento principal
2	Relé de partida ou fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou interbloqueio
4	Contactor principal
5	Dispositivo de interrupção
6	Disjuntor de partida
7	Disjuntor de anodo
8	Dispositivo de desconexão da energia de controle
9	Dispositivo de reversão
10	Chave de sequência das unidades
11	Reservada para futura aplicação
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste de velocidade ou frequência
16	Reservado para futura aplicação
17	Chave de derivação ou de descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contactor de transição partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância
22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura
24	Reservado para futura aplicação
25	Dispositivo de sincronização/conferência de sincronismo
26	Dispositivo térmico do equipamento
27	Relé de subtensão
28	Reservado para futura aplicação
29	Contactor de isolamento

30	Relé anunciador
31	Dispositivo de excitação em separado
32	Relé direcional de potência
33	Chave de posicionamento
34	Chave de sequência, operada por motor
35	Dispositivo para operação das escovas
36	Dispositivo de polaridade
37	Relés de subcorrente ou subpotência
38	Dispositivo de proteção de mancal
39	Reservado para futura aplicação
40	Relé de campo
41	Disjuntor ou chave de campo
42	Disjuntor ou chave de operação normal
43	Dispositivo ou seletor de transferência manual
44	Relé de sequência de partida das unidades
45	Reservado para futuras aplicações
46	Relés de reversão ou balanceamento de corrente de fase
47	Relé de sequência de fase de tensão
48	Relé de sequência incompleta
49	Relé térmico para máquina ou transformador
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente-tempo
52	Disjuntor e corrente alternada
53	Relé para excitatriz ou gerador em corrente contínua
54	Disjuntor de corrente contínua, alta velocidade
55	Relé de fator de potência
56	Relé de aplicação de campo
57	Dispositivo para aterramento ou curto-circuito
58	Relé de falha de retificação
59	Relé de sobretensão
60	Relé de balanço de tensão/queima de fusíveis
61	Relé de balanço de corrente
62	Relé de abertura temporizada

63	Relé de pressão de nível ou de fluxo, de líquido ou gás
64	Relé de proteção de terra
65	Regulador
66	Dispositivo de supervisão do número de partidas
67	Relé direcional de sobrecorrente em corrente alternada
68	Relé de bloqueio
69	Dispositivo de controle permissivo
70	Reostato eletricamente operado
71	Dispositivo de detecção de nível
72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contactador de resistência de carga
74	Relé de alarme
75	Mecanismo de mudança de posição
76	Relé de sobrecorrente de corrente contínua
77	Transmissor de impulsos
78	Relé de medição ângulo fase/proteção falta de sincron.
79	Relé de religamento em corrente alternada
80	Reservado para futura aplicação
81	Relé de frequência
82	Relé de religamento em corrente contínua
83	Relé de seleção de controle/transferência automática
84	Mecanismo de operação
85	Relé receptor de onda portadora ou fio piloto
86	Relé auxiliar de bloqueio de segurança
87	Relé de proteção diferencial
88	Motor auxiliar ou motor gerador
89	Chave seccionadora
90	Dispositivo de regulação
91	Relé direcional de tensão
92	Relé direcional de tensão e potência
93	Contactador de variação de campo
94	Relé de desligamento ou de livre atuação
95	Empregado em aplicações não definidas

96	Empregado em aplicações não definidas
97	Empregado em aplicações não definidas
98	Empregado em aplicações não definidas

ANEXO B - TABELA ANSI DE NOMENCLATURA COMPLEMENTAR

Código	
21B	Proteção de subimpedância: contra curtos-circuitos fase-fase
27TN	Proteção de subtensão residual de terceira harmônica
37P	Proteção direcional de sobrepotência ativa
37Q	Proteção direcional de sobrepotência reativa
48-51LR	Proteção contra partida longa, rotor bloqueado
49T	Supervisão de temperatura
50N	Sobrecorrente instantâneo de neutro
51N	Sobrecorrente temporizado de neutro (tempo definido ou curvas inversas)
50G	Sobrecorrente instantâneo de terra
50GS	Sobrecorrente instantâneo de terra
51G	Sobrecorrente temporizado de terra e com tempo definido ou curvas inversas
51GS	Sobrecorrente temporizado de terra e com tempo definido ou curvas inversas
50BF	Relé de proteção contra falha de disjuntor
51Q	Relé de sobrecorrente temporizado de sequência negativa com tempo definido
51V	Relé de sobrecorrente com restrição de tensão
51C	Relé e sobrecorrente com controle de torque
59Q	Relé de sobretensão de sequência negativa
59N	Relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro
62BF	Relé de proteção contra falha de disjuntor
64G	Relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro
64REF	Proteção diferencial de fuga à terra restrita
67N	Relé de sobrecorrente direcional de neutro instantâneo ou temporizado
67G	Relé de sobrecorrente direcional de terra instantâneo ou temporizado
67Q	Relé de sobrecorrente direcional de sequência negativa
78PS	Proteção de perda de sincronismo
81L	Proteção de subfrequência
81H	Proteção de sobrefrequência
81R	Taxa de variação da frequência (df/dt)
87B	Proteção diferencial de barramento
87T	Relé diferencial de transformador

87L	Proteção diferencial de linha
87G	Relé diferencial de gerador
87GT	Proteção diferencial do grupo gerador-transformador
87B	Proteção diferencial de barra
87M	Proteção diferencial de motores