

ANTEPROJETO DA SE-UFRJ 138 – 13,8 kV

Haroldo Ennes dos Santos Junior

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

Prof. Ivan Herszterg, M. Sc
(Orientador)

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

Prof. Walter Issamu Suemitsu, Dr. Ing

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2010

*Dedico este projeto aos meus pais
Haroldo e Sheila.*

Haroldo Junior

Agradeço:

Aos meus pais que me ensinaram todos os valores que um homem correto necessita ter.

Aos amigos da Equipe Berimbal que sempre estiveram presentes nesta longa jornada de estudos.

Aos companheiros de Centro Acadêmico que me ajudaram a entender a importância da Engenharia e

A todos, que de alguma forma, contribuíram para a minha formação profissional.

Resumo

A crescente expansão nas atividades da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) observada nos últimos anos tendo como contrapartida um crescente aumento do consumo de energia elétrica e um conseqüentemente o aumento dos gastos com eletricidade, motivou o estudo de uma alternativa que tornasse o suprimento de energia elétrica mais confiável e menos oneroso.

A forma encontrada para superação deste problema foi à construção de uma nova subestação alimentada em 138kV que seria interligada ao sistema de transmissão da Concessionária local, em substituição ao atual suprimento na tensão de distribuição de 13,8kV.

O objetivo deste trabalho é a elaboração do anteprojeto desta nova subestação transformadora 138-13,8kV, visando atender a crescente demanda de energia elétrica, reduzir os gastos anuais com eletricidade e melhor grau de confiabilidade de atendimento às cargas da Cidade Universitária.

Índice:

1- <u>Introdução</u>	1
2- <u>Operação da Subestação</u>	2
3- <u>Filosofia de Proteção</u>	4
3.1-Proteção das Linhas de 138 kV.....	5
3.2-Proteção do Barramento de 138 kV.....	8
3.3-Proteção dos Transformadores.....	8
3.4-Proteção dos Alimentadores 13,8 kV.....	11
4- <u>Correntes Nominais e de Curto-Circuito</u>	12
4.1-Dados do Projeto.....	12
4.2-Cálculo das Correntes Nominais.....	13
4.3-Cálculo das Correntes de Curto-Circuito.....	17
4.4-Resultados Obtidos.....	19
5- <u>Equipamentos</u>	21
5.1-Disjuntores.....	21
5.2-Secionadoras.....	25
5.3-Transformadores.....	27
5.3.1-Transformadores de Potência.....	27
5.3.2-Transformadores de Corrente.....	29
5.3.3-Transformadores de Potencial.....	37
5.4- Pára-Raios.....	39
6- <u>Arranjo Físico</u>	43

6.1-Setor de 138 kV.....	43
6.2- Setor de 13,8 kV.....	43
6.3-Casa de Controle.....	43
6.4-Estruturas.....	44
6.5-Cercas.....	44
6.6-Espaçamentos Elétricos.....	44
7- <u>Serviços Auxiliares</u>	45
7.1-Esquema operacional.....	45
7.2-Levantamento de Carga.....	46
7.3-Dimensionamento dos Transformadores de Serviços Auxiliares.....	53
7.4-Dimensionamento do Gerador a Diesel.....	54
7.5-Nível de Curto-Circuito do Barramento CA.....	55
7.6-Banco de Baterias.....	56
7.7-Carregador de Baterias.....	59
8- <u>Conclusão</u>	61
9- <u>Referências Bibliográficas</u>	62
<u>Anexo 1</u>	63
<u>Anexo 2</u>	64

1- Introdução.

Nos últimos anos os crescentes investimentos na área de ciência e tecnologia fizeram com que houvesse uma grande expansão nas atividades da Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A Atual subestação que abastece a Ilha do Fundão, no futuro, não será capaz de suportar essa demanda. A solução encontrada para superar a perspectiva de falta de energia para a universidade é a construção de uma nova subestação que será alimentada em 138 kV e possuirá uma rede própria de distribuição em 13,8 kV para 14 (quatorze) unidades consumidoras. Esta nova subestação proporcionará a UFRJ economia no valor pago pelo uso da energia elétrica, independência na distribuição interna e boa confiabilidade.

Este trabalho tem por objetivo a realização de um anteprojeto acadêmico para a implementação desta nova subestação transformadora de energia de 138 - 13,8 kV para a cidade universitária da UFRJ. Trata-se, portanto, da complementação de um estudo preliminar organizado pela Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento (PR-3), de Julho de 2008.

2- Operação da Subestação

A subestação denominada SE-UFRJ será construída na cidade universitária da UFRJ, Ilha do Fundão, zona Norte da cidade do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro (RJ).

O sistema de alimentação de energia elétrica será efetuado através de duas linhas de transmissão de 138 kV que são propriedade da Concessionária de energia LIGHT S/A. A SE-UFRJ fará parte do anel em 138 kV existente da rede de sub-transmissão para a Ilha do Governador / Fundão. O diagrama da figura 1 ilustra como o sistema em anel funcionará.

O setor de 138 kV possuirá um módulo de entrada de 138 kV, barramento simples, o que proporciona um baixo custo de implementação, e dois módulos de transformadores. Os transformadores serão trifásicos de relação 138 - 13,8 kV e potência nominal 15 / 20 MVA, que poderão operar em paralelo.

O esquema elétrico utilizado para o setor de 13,8 kV, é o “barra simples seccionada”. Este também permite um baixo custo de implementação, somado a possibilidade de manutenção de trechos da barra sem a interrupção total da SE. Os circuitos ligados à barra apresentam disjuntores extraíveis instalados em cubículos blindados, tornando possível a manutenção dos mesmos sem perda significativa da continuidade de alimentação, uma vez que o desligamento do circuito é momentâneo e igual ao tempo necessário para a substituição do disjuntor por outro tido como reserva na SE. Serão utilizados para a distribuição oito alimentadores distribuídos da seguinte forma:

- alimentadores A1 e A5 – Centro de Tecnologia.
- alimentadores A2 e A6 – Hospital Universitário + Instituto de Puericultura e Pediatria Martagão Gesteira + Prefeitura Universitária.

- alimentadores A3 e A7 – Centro de Ciências da Saúde + Escola de Educação Física + Alojamento Estudantil.
- alimentadores A4 e A8 – Faculdade de Letras + Centro de Ciências da Matemática e Natureza + Laboratório Coppe + Coppead + Reitoria + Xistoquímica + Zona Industrial.

Os alimentadores A1, A4, A5 e A8 serão implementados em uma primeira fase, já que seus consumidores são aqueles que demandam uma maior quantidade de energia elétrica.

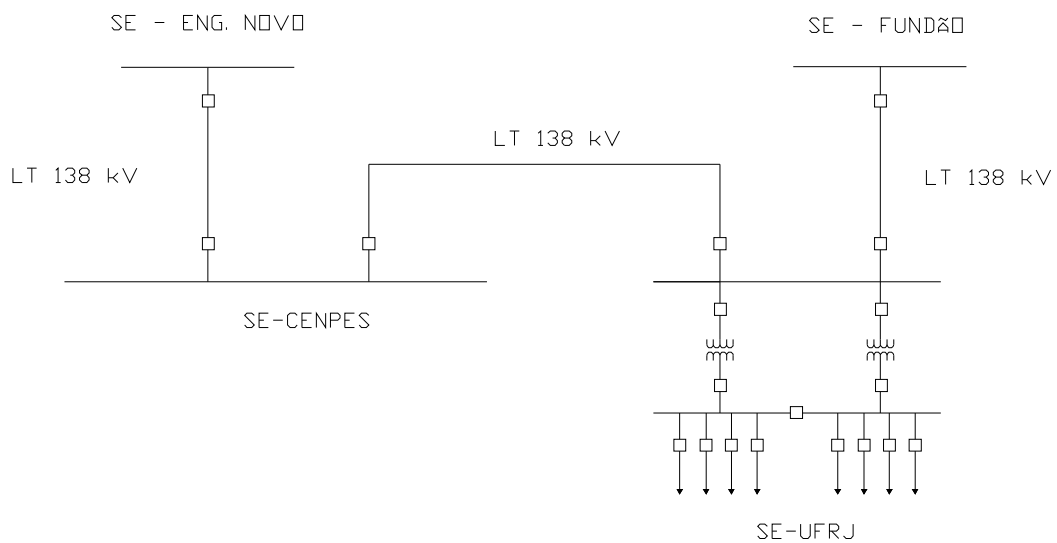


Figura 1 – Anel 138 kV

3- Filosofia de proteção

A proteção dos Sistemas Elétricos de potência é feita por esquemas de proteção que, por sua vez, são basicamente comandados por relés. A função primordial desses relés é identificar os defeitos do sistema, localizando-os da maneira mais exata possível, promovendo a abertura de disjuntores de modo a que o trecho defeituoso seja desconectado do restante do sistema. Neste caso o sistema continua a operar com a mesma configuração anterior, apenas desfalcado do trecho que foi isolado.

O sistema de proteção da SE-UFRJ é composto pela proteção das linhas de 138 kV, do barramento de 138 kV, dos transformadores de potência, do barramento de 13,8 kV e dos alimentadores de 13,8 kV. O diagrama da figura 2, mostra o esquema de funcionamento da proteção nas diferentes partes da SE.

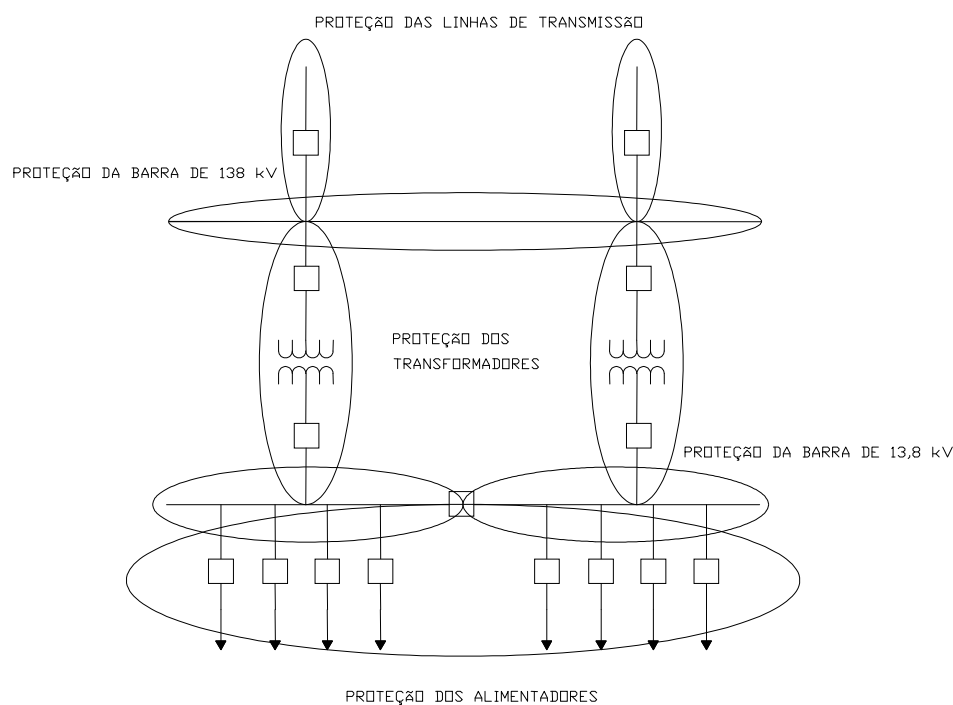


Figura 2 – Diagrama de proteção da SE-UFRJ

Pode-se notar a partir da figura 2 que existem regiões de interseção entre as zonas de proteção. Isso mostra o quanto redundante o sistema de proteção deve ser para garantir a eficiência no isolamento dos trechos com defeito.

3.1- Proteção das Linhas de 138 kV

Como principal proteção das linhas de transmissão, utilizou-se o relé de proteção diferencial, que é denotado pelo número função 87L, e para proteção de retaguarda o relé direcional de sobrecorrente, denotado pelo número função 67, foi escolhido.

No mercado inúmeras empresas fabricam unidades de proteção que possuem as funções citadas, uma dessas empresas é a Schweitzer que em seu catálogo oferece o relé digital SEL-311L.

3.1.1- Relé Diferencial

O relé diferencial é um dispositivo de proteção que se baseia na comparação de corrente elétrica de entrada e saída, podendo haver várias possibilidades de conexões sendo simbolicamente representada abaixo pela figura 3.



Figura 3 – Princípio da Proteção Diferencial

A função de proteção fundamenta-se na 1ª Lei de Kirchhoff aplicada ao equipamento, isto é:

$$I_{\text{entrada}} = I_{\text{saída}}$$

O dispositivo de proteção vai atuar do seguinte modo:

- a) Se $I_{\text{entrada}} = I_{\text{saída}}$, a corrente $I_{\text{relé}} = 0$, e o relé não atua, isto é, o elemento protegido não apresenta defeito.
- b) Se $I_{\text{entrada}} - I_{\text{saída}} \leq I_{\text{ajuste}}$, a proteção não atua porque a diferença de corrente é menor ou igual a corrente de ajuste do relé, I_{ajuste} .
- c) $I_{\text{entrada}} - I_{\text{saída}} > I_{\text{ajuste}}$, a proteção atua porque a diferença de corrente é maior que o ajuste no relé. Neste caso há um defeito no elemento protegido.

A comparação das correntes elétricas é feita por relés conectados a transformadores de corrente (TC's). Os TC's são transformadores que possuem a função de proporcionalmente reproduzir em seu secundário a corrente de seu circuito primário em magnitude e fase. Com isso as amplitudes da corrente são adequadas para serem utilizadas pelos dispositivos de proteção.

3.1.2- Teleproteção

Teleproteção é a proteção que utiliza comunicação entre os relés diferenciais (87) instalados em diferentes barras que são interligadas pela mesma linha de transmissão. O diagrama da figura 4 mostra de maneira simplificada o esquema de proteção de uma linha de transmissão utilizando o princípio da teleproteção.

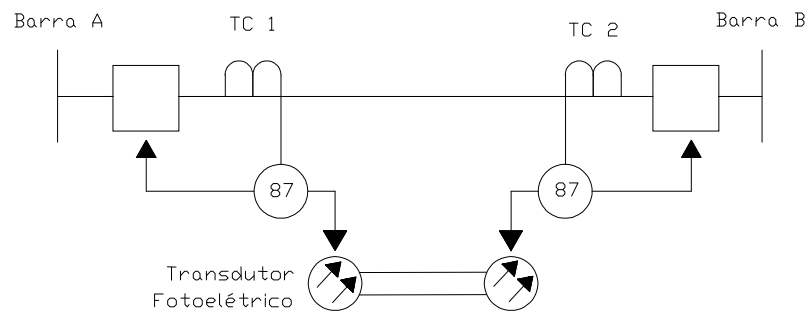


Figura 4 – Teleproteção Diferencial

Na SE-UFRJ, o meio físico da via de transmissão utilizado foi o cabo de fibra ótica. Neste tipo de teleproteção o sinal elétrico do relé 87 é dirigido ao transdutor fotoelétrico, que o transforma em um sinal luminoso equivalente. Este sinal é transmitido pela fibra ótica até o outro relé, estabelecendo a comunicação de proteção entre os terminais da linha.

3.1.3- Relé Direcional de Sobrecorrente.

O relé de sobrecorrente direcional (função 67) é um dispositivo que atua quando a corrente atinge valor superior ao valor de ajuste e tem um sentido pré-estabelecido de acordo com sua referência de polarização.

O sistema de energia elétrico em anel é o tipo do sistema em que a energia pode fluir em qualquer sentido, e por isso há a necessidade da utilização do relé 67.

A direcionalidade do fluxo de energia, neste dispositivo, é dada pela comparação fasorial das posições relativas da corrente de operação e tensão de polarização. Esta defasagem é que produz o sentido da direção do fluxo de energia da corrente de operação ou do curto-circuito. A corrente de operação é obtida através de um TC e a tensão de polarização por meio de um transformador

de potencial (TP). Os transformadores de potencial são equipamentos destinados a reproduzir proporcionalmente em seu secundário a tensão do enrolamento primário, com o menor erro possível e com a mesma fase.

O diagrama unifilar da figura 5, representa simbolicamente, o relé 67.

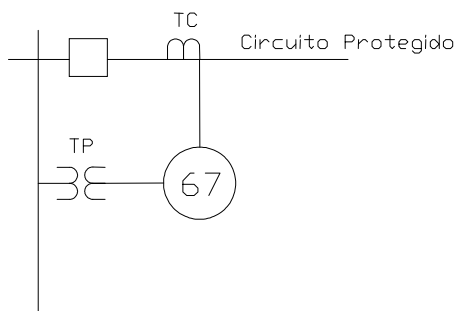


Figura 5 – Diagrama Unifilar do Relé Direcional

3.2- Proteção do Barramento de 138 kV

Para a proteção do barramento de 138 kV uma unidade de proteção diferencial de barra (função 87B) foi utilizada. Entre os possíveis fabricantes dessa unidade de proteção selecionou-se o equipamento SEL 487B, da empresa Schweitzer. Este dispositivo atua sobre o relé de bloqueio (função 86B) que tem a função de impedir que o operador da subestação religue o sistema em um curto-circuito.

3.3- Proteção dos Transformadores

Os transformadores são os equipamentos mais caros e mais importantes de uma subestação e possuem baixos índices de falhas, entretanto quando elas ocorrem, invariavelmente acontecem desligamentos, forçados ou não, implicando em substituições ou manutenções.

Para este equipamento tão importante do Sistema Elétrico de Potência, que possibilita o acoplamento de setores elétricos com diferentes tensões, utilizam-se proteções específicas, conhecidas como proteções intrínsecas do transformador.

A proteção intrínseca é constituída pelos seguintes relés: Relé detector de temperatura do enrolamento 49, relé detector de temperatura do óleo 26, relé detector de gás (Buchholz) 63, relé indicador de nível de óleo 71 e o relé de válvula de alívio de pressão 20. Todos esses relés atuam disparando um alarme e conseqüentemente disparando tanto os disjuntores do setor primário como do setor secundário, a exceção é o relé 71, que atua somente no disparo do alarme.

Para a unidade de proteção diferencial do transformador (função 87T) selecionou-se o relé SEL 387 A. Além da função de proteção diferencial este equipamento possui a função de sobrecorrente temporizado com elemento instantâneo (50/51) e a função de sobrecorrente temporizado com elemento instantâneo de neutro (50/51N). O relé 50/51 protege o transformador para as faltas fase-fase, e o relé 50/51N é o responsável pela proteção para as faltas fase-terra. Ligado ao equipamento SEL 387 A existe um relé de bloqueio 86T, que no caso de falta impede que o operador da subestação religue o sistema.

3.3.1- Relé de sobrecorrente

O relé de sobrecorrente é um dispositivo que incorpora um sensor que é previamente configurado para um determinado valor de corrente. Quando este relé é sensibilizado com uma corrente maior que a do seu ajuste, ele dispara o disjuntor que isola o trecho defeituoso.

O relé de sobrecorrente pode ser classificado em:

a) Relé de Sobrecorrente Instantâneo (50) – atua instantaneamente para qualquer corrente maior que a do seu ajuste.

b) Relé de Sobrecorrente Temporizado (51) – é programado para atuar um certo tempo após o defeito.

c) Relé de Sobrecorrente Temporizado com Elemento Instantâneo (50/51) – é um relé de sobrecorrente temporizado que incorpora no seu circuito uma unidade instantânea.

O gráfico da figura 6 mostra o desempenho da atuação do relé de Sobrecorrente Temporizado com Elemento Instantâneo.

Neste gráfico pode-se notar que dependendo da magnitude corrente de curto-circuito a unidade 50 ou a 51 pode ser acionada, isto é:

c.1) Atuação da unidade 51 acontecerá se:

$$1,5 I_{\text{ajuste do relé}} \leq I_{\text{curto}} \leq I_{\text{ajuste do instantâneo}}$$

c.2) Atuação da unidade 50 acontecerá se

$$I_{\text{curto}} > I_{\text{ajuste do instantâneo}}$$

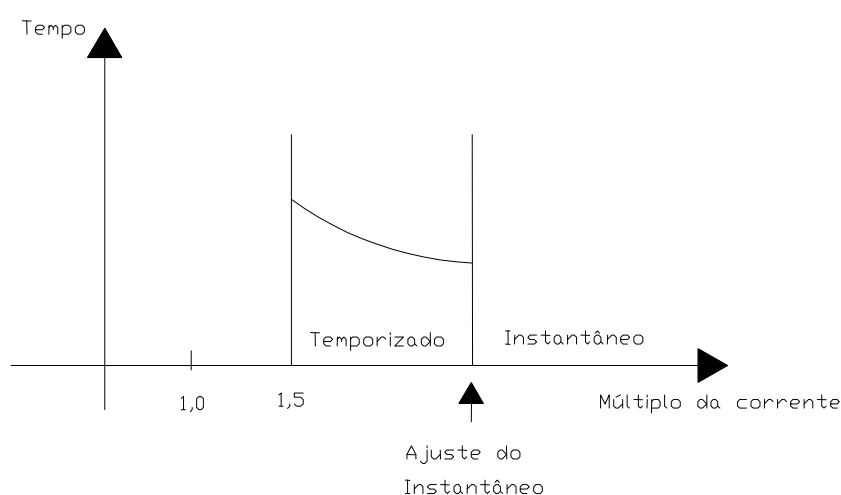


Figura 6 – Tempo x Corrente do Relé 50/51

3.4- Proteção dos Alimentadores de 13,8 kV

Na planta existem oito alimentadores idênticos de 13,8 kV. Para a proteção desses alimentadores contra curto-circuito entre fases, utilizou-se a função do relé de sobrecorrente temporizado com elemento instantâneo (50/51) e para a proteção contra curto-circuito fase-terra a função de sobrecorrente temporizado com elemento instantâneo de neutro (50/51N). O equipamento selecionado que possui essas funções foi o relé SEL – 351 A.

4 - Correntes Nominais e de Curto-Circuito

Para o dimensionamento dos equipamentos da subestação, é necessário o cálculo das correntes que fluem pelos diferentes trechos da SE.

Neste tópico serão calculadas as correntes nominais (I_{nom}) e as correntes de curto-circuito (I_{cc}), em diferentes trechos da SE-UFRJ.

4.1- Dados do Projeto

Os principais dados a serem utilizados neste projeto são:

Tensões Nominais (V_{nom})	138 - 13,8 kV
Linhas de 138 kV	2 circuitos
Alimentadores de 13,8 kV	8 circuitos
Transformadores	2 unidades 138 / 13,8 kV 15/20 MVA xt = 8% (base de 15 MVA) Δ - Y aterrado
Barra de 138 kV	$I_{cc1\Phi}$ - 7,0 kA $I_{cc3\Phi}$ - 7,5 kA

Tabela 1 – Dados do projeto.

As duas unidades transformadoras de potência foram consideradas no estudo técnico desenvolvido pela PR-3 por possuírem características semelhantes aos equipamentos utilizados pela concessionária LIGHT S/A. Posteriormente os transformadores serão confirmados de acordo com a demanda da UFRJ, e com as futuras previsões de crescimento desta demanda.

Os valores das correntes de curto-circuito trifásico e curto-circuito monofásico, no barramento de 138 kV, foram estimadas e serão informados futuramente pela concessionária de energia.

4.2- Cálculo das Correntes Nominais

Serão estudados dois casos diferentes para os cálculos das correntes nominais da SE-UFRJ. O primeiro deles terá o funcionamento normal da subestação com os dois transformadores de potência energizados, operando no estágio de ventilação normal e ventilação forçada. O segundo prevê uma situação de emergência com somente um dos transformadores alimentando todo o sistema. Também serão considerados os estágios de ventilação normal e forçada do equipamento.

4.2.1- Operação Normal da Subestação

Neste caso os dois transformadores operam normalmente, cada um deles fornece no estado de ventilação normal uma potência de 15 MVA e no estado de ventilação forçada uma potência de 20 MVA. A seguir o memorial de cálculo das correntes nominais para cada uma dessas duas hipóteses.

a) Transformador em ventilação normal.

Neste caso a potência total da subestação é de 30 MVA.

a.1) Corrente nominal para as linhas de transmissão de 138 kV

O funcionamento da SE-UFRJ prevê que somente uma das linhas alimente o barramento de 138 kV, portanto a outra LT só entrará em operação no caso da falta desta primeira.

A potência total que cada linha estará submetida será a soma das potências de cada transformador, então:

$$S_{\text{total}} = 30 \text{ MVA (15 MVA para cada transformador)}$$

$$S_{\text{linha}} = 30 \text{ MVA}$$

$$V_{\text{nom}} = 138 \text{ kV}$$

$$I_{\text{nom}} = S_{\text{linha}} / (\sqrt{3} * V_{\text{nom}})$$

$$I_{\text{nom}} = 125,52 \text{ A.}$$

a.2) Corrente Nominal para o lado de Alta de cada Transformador

$$S_{\text{trafo}} = 15 \text{ MVA}$$

$$V_{\text{nom}} = 138 \text{ kV}$$

$$I_{\text{nom}} = S_{\text{trafo}} / (\sqrt{3} * V_{\text{nom}})$$

$$I_{\text{nom}} = 62,76 \text{ A.}$$

a.3) Corrente Nominal para o lado de Baixa de cada Transformador

$$S_{\text{trafo}} = 15 \text{ MVA}$$

$$V_{\text{nom}} = 13,8 \text{ kV}$$

$$I_{\text{nom}} = S_{\text{trafo}} / (\sqrt{3} * V_{\text{nom}})$$

$$I_{\text{nom}} = 627,56 \text{ A}$$

a.4) Corrente Nominal para cada um dos Alimentadores de 13,8 kV

$$V_{\text{nom}} = 13,8 \text{ kV}$$

$$S_{\text{total}} = 30 \text{ MVA}$$

$$S_{\text{alim}} = S_{\text{total}} / 8 = 3,75 \text{ MVA (8 alimentadores)}$$

$$I_{\text{nom}} = S_{\text{alim}} / (\sqrt{3} * V_{\text{nom}})$$

$$I_{\text{nom}} = 157,89 \text{ A.}$$

a.5) Corrente Nominal para a Barra de 13,8 kV

$$V_{\text{nom}} = 13,8 \text{ kV}$$

$$S_{\text{total}} = 30 \text{ MVA}$$

$$I_{\text{nom}} = S_{\text{total}} / (\sqrt{3} * V_{\text{nom}})$$

$$I_{\text{nom}} = 1.255,11 \text{ A}$$

b) Transformador em ventilação forçada.

Os cálculos das correntes nominais para o estágio de ventilação forçada são semelhantes ao s de ventilação forçada, entretanto neste caso total da subestação é de 40 MVA. A tabela 2 fornece os resultados dos cálculos nos diferentes setores analisados da subestação.,

Trecho da SE-UFRJ	Corrente nominal (A)
LT's de 138 kV	167,35
Lado de alta do transformador	83,67
Lado de baixa do transformador	836,74
Alimentadores de 13,8 kV	209,19
Barramento de 13,8 kV	1.673,48

Tabela 2 – Correntes nominais para uma potência de 40 MVA.

4.2.2- Operação com somente um dos transformadores

Como um único transformador na subestação em operação a potência total do sistema com este em ventilação normal será de 15 MVA e em para ventilação forçada será de 20 MVA.

a) Transformador em ventilação normal.

A tabela 3 mostra as correntes nominais para uma potência de 15 MVA.

Trecho da SE-UFRJ	Corrente nominal (A)
LT's de 138 kV	62,76
Lado de alta do transformador	62,76
Lado de baixa do transformador	627,56
Alimentadores de 13,8 kV	78,45
Barramento de 13,8 kV	627,56

Tabela 3 – Correntes nominais para uma potência de 15 MVA.

b) Transformador em ventilação forçada.

A tabela 4 mostra as correntes nominais para uma potência de 20 MVA.

Trecho da SE-UFRJ	Corrente nominal (A)
LT's de 138 kV	83,67
Lado de alta do transformador	83,67
Lado de baixa do transformador	836,74
Alimentadores de 13,8 kV	104,60
Barramento de 13,8 kV	836,74

Tabela 4 – Correntes nominais para uma potência de 20 MVA.

4.3- Cálculo das Correntes de curto-circuito

Para encontrar os valores das correntes de curto-circuito foram utilizados os seguintes valores de base:

S_{base}	100 MVA
V_{base1}	138 kV
I_{base1}	418,4 A
V_{base2}	13,8 kV
I_{base2}	4184 A

Tabela 5 – Valores de base do sistema.

4.3.1- Cálculo da reatância do transformador

Como, $S_{base} = 100$ MVA e $S_{trafo} = 15$ MVA, tem-se que:

$$.xt1 = xt2 = xt0 = xt$$

$$.xt = 0,08 * (S_{base} / S_{trafo})$$

$$.xt = xt1 = xt2 = xt0 = 0,53pu.$$

4.3.2- Cálculo da Reatância de Sequência positiva

$$i_{cc3\phi} = 7500 \text{ A}$$

$$I_{cc3\phi} = i_{cc3\phi} / I_{base1}$$

$$I_{cc3\phi} = 17,93 \text{ p.u.}$$

$$I_{cc3\phi} = 1 / x1$$

$$x1 = 0,056 \text{ p.u.}$$

$$x1_{sistema} = x1 + xt1 / 2$$

$$x_{1\text{sistema}} = 0,321 \text{ p.u.}$$

4.3.3- Cálculo da Reatância de Sequência Negativa

$$x_{2\text{sistema}} = 0,321 \text{ p.u.}$$

4.3.4- Cálculo da Reatância de Sequência Negativa

$$i_{cc1\Phi} = 7000 \text{ A}$$

$$I_{cc1\Phi} = i_{cc1\Phi} / I_{base1}$$

$$I_{cc1\Phi} = 16,73 \text{ p.u.}$$

$$I_{cc1\Phi} = 3 / x_1 + x_2 + x_0$$

$$x_0 = 0,067 \text{ p.u.}$$

$$x_{0\text{sistema}} = x_0 / 2$$

$$x_{0\text{sistema}} = 0,265 \text{ p.u.}$$

No cálculo da seqüência zero não se inclui, neste caso, os valores das reatâncias obtidas a partir do curto-circuito monofásico, já que essas reatâncias estão ligadas em delta com o transformador de potência.

4.3.5- Cálculo da Corrente de Curto-Circuito Trifásica na barra de 13,8 kV

$$I_{cc3\Phi} = 1 / x_{1\text{sistema}}$$

$$I_{cc3\Phi} = 3,12 \text{ p.u.}$$

$$I_{cc3\Phi} = 12.941,76 \text{ A}$$

4.3.5- Cálculo da Corrente de Curto-Circuito Monofásica na barra de 13,8 kV

$$I_{cc1\Phi} = 3 / x1_{sistema} + x2_{sistema} + x0_{sistema}$$

$$I_{cc1\Phi} = 3,31 \text{ p.u.}$$

$$I_{cc1\Phi} = 13.729,88 \text{ A}$$

4.4- Resultados Obtidos

As tabelas 6, 7 e 8, a seguir, apresentam os valores das reatâncias, os valores mínimos e máximos das correntes nominais nos diferentes trechos analisados e os valores das correntes de curto-circuito monofásica e trifásica, respectivamente:

Seqüência	Sistema
Positiva	0,321 p.u.
Negativa	0,321 p.u.
Zero	0,265 p.u.

Tabela 6 – Reatâncias

Corrente Nominal	Linhas de 138 kV	Círculo de 138 kV	Círculo de 13,8 kV	Barra de 13,8 kV	Alimentadores de 13,8 kV
Mínima (I_{nom}) _{min}	62,76 A	62,76 A	627,56 A	627,56 A	78,45 A
Máxima (I_{nom}) _{max}	167,35 A	83,67 A	836,74	1.673,48	209,19 A

Tabela 7 – Correntes nominais mínimas e máximas.

Corrente de Curto-Circuito	Barra de 138 KV	Barra de 13,8 KV
Monofásico($I_{cc1\Phi}$)	7000 A	13.729,88 A
Trifásico($I_{cc3\Phi}$)	7500 A	12.941,76 A

Tabela 8 – Correntes de curto-circuito monofásicas e trifásicas.

5- Equipamentos.

Especificar os equipamentos neste projeto tem como finalidade definir suas respectivas características principais e funcionais para implementação na subestação.

5.1- Disjuntores

São dispositivos de manobra capazes de conduzir, interromper e estabelecer correntes nominais e anormais especificadas no sistema. São usados para controlar circuitos, ligando e desligando em qualquer condição, conduzindo corrente de carga e proporcionando uma supervisão automática das condições do sistema e sua operação.

Os disjuntores devem ser sempre instalados acompanhados dos respectivos relés, que são os elementos responsáveis pela detecção das correntes elétricas do circuito, e que tomam a decisão de acionamento ou não do disjuntor.

As principais funções dos disjuntores são:

- a) Interromper rápida e sucessivamente a corrente de curto-circuito;
- b) Capacidade para interromper, estabelecer e conduzir correntes nominais de carga dos circuitos, por longo tempo,
- c) Suportar a tensão do circuito em que está instalado com os contatos abertos;
- d) Ser capaz de fechar um circuito em curto imediatamente após abrir, ou reabrir, para eliminar esta falta (tripfree);
- e) Abrir em tempos tão curtos quanto 2 ciclos, mesmo tendo permanecido na posição de fechamento por longos períodos de tempo;

- f) Suportar os efeitos do arco elétrico, bem como os efeitos eletromagnéticos e mecânicos do primeiro meio ciclo da corrente de curto-circuito. Deve suportar também os efeitos da corrente estabelecida (corrente suportável nominal de curta duração).

Existem várias formas de interrupção do arco elétrico. Atualmente podem-se listar as seguintes técnicas:

- Óleo isolante;
- Ar comprimido;
- SF₆;
- Ar livre;
- Vácuo;
- Sopros magnético.

5.1.1 Características Nominais

É importante que sejam definidas características nominais dos disjuntores, algumas dessas características são:

- a) Tensão nominal – é definida a máxima tensão do sistema no qual o disjuntor será submetido;
- b) Nível de isolamento – é baseado nas tensões de impulso e nas frequências industriais que o disjuntor pode suportar. Para disjuntores acima de 300 kV são levadas em consideração as tensões de impulso devido a surtos atmosféricos e surtos de manobra;
- c) Frequência nominal - é a frequência para a qual o disjuntor é projetado, 50 ou 60Hz;

- d) Corrente nominal – é o valor eficaz da corrente que o disjuntor é capaz de conduzir continuamente, na frequência nominal, sem exceder os limites de temperatura listados na norma utilizada;
- e) Corrente de Interrupção Nominal de curto-circuito – é a máxima corrente de curto-circuito que um disjuntor é capaz de interromper sob condições de uso e funcionamento prescritos na norma;
- f) Capacidade de Curta duração Admissível – é o valor eficaz da corrente que o disjuntor pode conduzir por um tempo especificado (1 segundo ou 3 segundos);
- g) Capacidade de interrupção assimétrica – corresponde ao valor total da corrente de curto-circuito no instante de separação dos contatos;
- h) Tensão transitória de Restabelecimento – é a tensão de referência que constitui o limite da tensão transitória de restabelecimento do circuito que o disjuntor é capaz de interromper na ocorrência de um curto-circuito em seus terminais.

5.1.2- Dimensionamento do Equipamento

O disjuntor do setor de 138 kV foi escolhido a partir da corrente de curto trifásico das linhas de transmissão. Já os disjuntores do setor de 13,8 kV foram dimensionados com o valor da corrente de curto calculada no barramento deste setor. Os equipamentos foram dimensionados a partir da NBR IEC 62271-100:2006.

A tabela 9 mostra os dados de cada equipamento na área de 138 kV.

Setor de 138 kV	
Tensão Nominal	145 kV

Tensão suportável de impulso atmosférico	650 kV
Tensão suportável à frequência industrial	275 kV
Corrente Nominal	400 A
Frequência Nominal	60 Hz
Corrente de curta duração admissível	20 kA
Corrente Interrupção Nominal	20 kA
Ciclo de operação	O- 0,3s- CO -3min - CO
Meio isolante	SF ₆
Instalação	Externa
Fabricante	ABB
Modelo	LTB 145D1/B

Tabela 9 – Especificação dos disjuntores de 138 kV

A tabela 10, a seguir, mostra os dados de cada equipamento na área de 13,8 kV:

Setor de 13,8 kV	
Tensão Nominal	15 kV
Tensão suportável de impulso atmosférico	110 kV
Corrente Nominal	3150 A
Tensão suportável à frequência industrial	34 kV
Frequência Nominal	60 Hz
Corrente de curta duração admissível	31,5 kA
Corrente Interrupção Nominal	31,5 kA
Ciclo de operação	O- 0,3s-CO- 3min -CO
Meio isolante	Vácuo
Instalação	Cubículo Blindado
Fabricante	ABB
Modelo	15AM31

Tabela 10 – Especificação dos disjuntores de 13,8 kV

5.2- Secionadoras

São equipamentos capazes de estabelecer e conduzir correntes nominais e de curto-circuito, e normalmente são previstas para operar sem carga. São importantes dispositivos que permitem a manutenção dos equipamentos do sistema de potência, tais como transformadores, reguladores, disjuntores e ainda equipamentos de compensação como os capacitores e reatores. Elas são projetadas para satisfazer as seguintes condições:

- Solicitações quando estão fechadas: Devem estabelecer uma conexão galvânica segura entre os seus dois pólos quando estão com seus contatos fechados. Como em serviço contínuo aparece um aquecimento em seus condutores, esse aquecimento deve ser mantido dentro dos limites estabelecidos para o material utilizado. Devem suportar também todos os efeitos térmicos e dinâmicos das correntes de curto-circuito.

- Solicitações quando estão abertas: O espaço entre o contato fixo e o móvel, isto é, o espaço de separação deve ser projetado para uma capacidade de isolamento suficiente, para assim evitar quaisquer descargas entre as partes, promovendo artificialmente a conexão entre os componentes e circuitos separados.

5.2.1 Características Nominais

A seguir, definem-se algumas características desses equipamentos:

- a) Tensão nominal – é a tensão para a qual o equipamento é projetado para o serviço contínuo. Esta tensão deve ser igual a tensão operativa do sistema no qual o dispositivo está instalado.

- b) Corrente nominal – é o valor eficaz da corrente que o equipamento deve conduzir continuamente sem exceder os valores de temperatura especificados para os seus componentes;
- c) Nível de isolamento – é o valor da crista da tensão a ser suportada pela chave entre as partes vivas e as aterradas, quando submetidas a um impulso com forma de onda equivalente à descarga atmosférica. Esta tensão é usada para definir o nível básico de isolamento;
- d) Corrente Suportável Nominal de curta duração – é o valor eficaz da corrente que a seccionadora pode conduzir num período especificado de tempo (em torno de 1 a 3 segundos).

5.2.2- Dimensionamento do Equipamento

De acordo com a norma NBR IEC 62271-102:2006, a tabela 11, mostra as especificações dos equipamentos selecionados.

Setor de 138 kV	
Tensão Nominal	145 kV
Tensão suportável de impulso atmosférico	650 kV
Corrente Nominal	400 A
Frequência Nominal	60 Hz
Corrente Suportável Nominal de Curta Duração	20 kA
Instalação	Externa
Fabricante	Southern States
Modelo	RDA – 1V

Tabela 11 – Especificação dos seccionadores

5.3- Transformadores

Transformadores são equipamentos destinados a transmitir energia ou potência elétrica de um circuito primário para um ou mais de um circuito secundário, por meio de indução magnética

Existem três tipos de transformadores:

- Transformadores de potência (TRAFO);

- Transformadores de potencial (TP);

- Transformadores de corrente (TC);

5.3.1 - Transformadores de potência

Os transformadores de potência podem ser considerados os dispositivos mais importantes de uma subestação. São equipamentos de alto custo e sem sua presença não seria possível realizar o transporte de energia de um barramento para outro.

Podem-se enumerar algumas características de um transformador de potência:

- a) Potência nominal – é o valor convencional de potência aparente que serve de base ao projeto, e que determina o valor da corrente nominal que circula, sob tensão nominal, nas condições especificadas pela norma.
- b) Corrente nominal - é a corrente que circula no terminal de linha do enrolamento. São definidas as correntes nominais, primárias e secundárias.

- c) Tensão nominal - é a tensão especificada, a ser aplicada ou induzida em vazio nos terminais de linha de um enrolamento de um transformador polifásico ou nos terminais de um transformador monofásico. São definidas as tensões, primárias e secundárias.
- d) Frequência nominal - é a frequência para qual o transformador é projetado.
- e) Tensão suportável de impulso atmosférico - é o valor de crista da tensão de impulso suportada pelo transformador entre partes vivas e terra, quando testado com uma forma de onda equivalente à descarga atmosférica.
- f) Tensão suportável de frequência industrial - é o valor eficaz da tensão suportada entre as partes vivas e terra quando o transformador é testado à frequência industrial (no caso 60 Hz, durante um minuto).
- g) Impedância percentual – equivale à queda de tensão em p.u. no transformador durante um curto-circuito.

A tabela 12 mostra o equipamento utilizado:

Tensão nominal primária	138 kV
Tensão nominal secundária	13,8 kV
Tensão primária suportável de Impulso	650 kV
Tensão secundária suportável de Impulso	275 kV
Tensão secundária suportável de frequência industrial	110 kV
Tensão suportável de frequência industrial	38 kV
Potência nominal	15 MVA
Potência nominal no estágio de ventilação forçada	20 MVA
Corrente nominal primária	62,7 A
Corrente nominal secundária	627,6 A
Frequência nominal	60Hz
Impedância	8% (base de 15 MVA)
Número de fases	3
Ligação dos enrolamentos	Δ - Y aterrado
Refrigeração	ONAN/ONAF
Meio isolante	Óleo mineral
Instalação	Externa

Tabela 12- Especificação dos transformadores

5.3.2 – Transformador de corrente

Este equipamento tem a função de reproduzir no seu circuito secundário a corrente que circula no enrolamento primário a uma proporção definida, conhecida e adequada. Os transformadores de corrente, ou simplesmente TC, fornecem correntes suficientemente reduzidas e isoladas do circuito primário, de forma a possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção.

5.3.2.1 – Tipos de serviços

Os transformadores de corrente são classificados em função do tipo de serviço a ser executado, podendo ser:

- Transformadores de corrente para serviço de medição;
- Transformadores de corrente para serviço de proteção.

A norma NBR 6856/1992 foi utilizada para caracterizar e dimensionar esses equipamentos, nela os transformadores de corrente para serviço de proteção podem ser divididos em duas classes:

- CLASSE A - utilizada para equipamentos de alta impedância interna, isso é, aquela cuja reatância de dispersão do enrolamento secundário é considerável;
- CLASSE B – utilizada para equipamentos de baixa impedância interna, isto é, aquele cuja reatância de dispersão do enrolamento secundário possui valor desprezível.

5.3.2.2- Características Nominais

Existem características que são importantes para o dimensionamento dos transformadores de corrente, as definições de algumas dessas características estão a seguir:

- a) Correntes primárias e relações nominais – as correntes primárias nominais e as relações nominais de transformação são padronizadas pela norma;
- b) Nível de isolamento – é definido pela máxima tensão do circuito ao qual o transformador de corrente vai ser conectado.
- c) Frequência nominal – as frequências nominais para os transformadores de corrente projetados. A norma fixa 60 Hz.
- d) Carga Nominal – é definida como a soma vetorial de todas as resistências e reatâncias conectadas ao transformador de corrente. Pode ser expressa em termos de impedância ou em termos de potência e fator de potência, ou seja, volt-amperes;
- e) Tensão secundária nominal – é a tensão que aparece nos terminais da carga nominal imposta ao TC. Essa tensão é imposta por 20 vezes o valor da corrente do secundário, sem que o erro da relação exceda um valor especificado. A norma NBR 6856/1992 ABNT fixa valor desta corrente em 5 A;
- f) Classe de exatidão – é a classe de precisão em função do serviço no qual o TC está sendo empregado. A seleção desta classe sofrerá uma variação já que o equipamento pode ser fabricado para o serviço de medição ou para o de proteção;
- g) Tensão secundária normalizada – é a tensão baseada na corrente secundária nominal de 5 A com a carga conectada no TC. A norma fixa os valores desta tensão;
- h) Fator térmico Nominal – é o fator pelo qual se deve multiplicar a corrente primária nominal do sistema de um TC para se obter a corrente primária máxima que o

transformador deve suportar, em regime permanente, sob frequência nominal e com a maior carga especificada, sem exceder os limites de temperatura especificados para sua classe de isolamento.

5.3.2.3- Dimensionamento do Equipamento

Os TC's foram utilizados em diferentes setores da SE-UFRJ. No setor de 138 kV, estão instalados nas linhas de transmissão e na ligação entre o barramento de 138 kV e o transformador. Já no setor de 13,8 kV se localizam na ligação do transformador de potência com o barramento de 13,8 kV e também nos alimentadores. Em todos os trechos citados foi necessário o uso de TC's tanto para o serviço de medição, quanto para o de proteção.

5.3.2.3.1 – Setor de 138 kV

a) TC para medição das linhas de transmissão:

Para a medição de valores nas linhas de 138 kV conectou-se no secundário dos transformadores de corrente um amperímetro, um wattímetro, um varímetro, um wattímetro hora e um varímetro hora. Foi estimada uma carga de $2\ \Omega$ para o conjunto desses dispositivos, o fator de potência utilizado, descrito na norma, é de 0,5. A potência aparente calculada, a partir de $P = R \cdot I^2$, para uma corrente de 5 A é igual a 50 VA. Na norma NBR 6856/1992, a potência aparente normalizada é de 50 VA.

A corrente nominal máxima de cada linha de 138 kV é de 167,4 A. O valor normalizado da relação de transformação será de 200 – 5 A.

O fator térmico utilizado foi de 1,0 e a classe de exatidão utilizada é de 0,3, então:

Fator térmico: 1,0.

Relação de transformação: 200 – 5 A.

Classe de exatidão: 0,3C50.

b) TC para proteção das linhas de transmissão:

Para o serviço de proteção utilizou-se pelos padrões da ABNT a classe “B”.

A relação escolhida para garantir a exatidão da carga ligada ao transformador é a razão do valor da corrente de curto-circuito trifásico, dividida por 20 vezes o valor da corrente nominal do secundário do transformador. Como o valor da corrente de curto é de 7500 A e a corrente no secundário do transformador é de 5 A, tem-se que esta razão vale 75.

Esta razão sugere uma relação de transformação de 375 – 5 A. De acordo com a norma utilizada a relação é de 400-5.

Os relés de proteção ligados a este TC são os 87, 67, 67N e 86 e para a classe de exatidão foi novamente estimado um valor total de 2Ω .

A tensão secundária normalizada deste TC foi calculada da seguinte forma:

$$V_{\text{sec nominal}} = 2 \times 20 \times 5 = 200\text{V}.$$

Então:

Fator térmico: 1,0.

Relação de Transformação: 400 - 5 A.

Classe de exatidão: 10B200.

c) TC para proteção da barra de 138 kV

Ligado ao secundário deste transformador estão o relé 87 e o relé 86, portanto foi utilizado o valor de $2\ \Omega$ para a carga conectada ao TC. Pela norma:

Fator térmico: 1,0.

Relação de Transformação: 400 – 5 A.

Classe de exatidão: 10B200.

d) TC para medição no lado de alta do transformador

Um único amperímetro foi ligado a este TC. Foi utilizado um valor de $0,5\ \Omega$ para este relé, pela norma NBR 6856/1992 a potência aparente relacionada com esta impedância, a um fator de potência igual a 0,5, é de 25 VA.

A corrente nominal máxima no lado de alta do transformador é de 83,7 A então a relação de transformação utilizada foi de 100 – 5 A.

Então pela norma:

Fator térmico: 1,0.

Relação de Transformação: 100 – 5 A.

Classe de exatidão: 0,3C25.

e) TC para proteção do transformador

Escolheu-se o TC de proteção do tipo “B” com uma relação de transformação de 600 – 5 A.

Foram ligados ao secundário do equipamento os relés 87, 50/51, 50/51N e o 86T, que para os cálculos somam um valor total superestimado de $2\ \Omega$

Então pela norma:

Fator térmico: 1,0.

Relação de Transformação: 400 – 5 A.

Classe de exatidão: 10B200.

5.3.2.3.1 – Setor de 13,8 kV

a) TC para medição no lado de baixa do transformador:

Novamente utiliza-se um conjunto completo de medição com um valor total de $2\ \Omega$, que pela norma utilizada, a um fator de potência 0,5, relaciona uma potência aparente normalizada de 50 VA.

A corrente nominal máxima no lado de baixa do transformador é de 836,7 A, logo neste caso usou-se 1000-5 como relação de transformação.

Pela norma ABNT:

Fator térmico: 1,0.

Relação de transformação: 1000 – 5 A.

Classe de exatidão: 0,3C50.

b) TC para proteção no lado de baixa do transformador:

O valor do curto trifásico na barra de 13,8 kV é de aproximadamente 13 kA, então, para uma corrente de 5 A no secundário do TC, tem-se que a razão de transformação vale 130.

Essa razão sugere uma relação de transformação de 650 – 5 A. A relação normalizada a ser utilizada seria é de 800 – 5 A.

Fator térmico: 1,0.

Relação de Transformação: 800 – 5 A.

Classe de exatidão: 10B200.

c) TC's para medição nos cubículos blindados

Foram ligados a este TC um amperímetro, um wattímetro e um varímetro. Foi estimado um valor total máximo de $1,8\Omega$ a um fator de potência de 0,5, que relaciona a uma potência aparente normalizada de 50 VA.

A corrente nominal máxima para o setor de 13,8 kV é de 167,4 A.

Então pela norma NBR 6856/1992:

Fator térmico: 1,0.

Relação de transformação: 200 – 5 A.

Classe de exatidão: 0,3C50.

d) TC's para proteção nos cubículos blindados

Os relés utilizados para a proteção dos alimentadores foram os 50/51 e 50/51N, que somados tem um valor estimado de 2Ω . Para o dimensionamento da relação de transformação foi considerado o curto na barra de 13,8 kV, que equivale a aproximadamente 13 kA, portanto:

Fator térmico: 1,0.

Relação de transformação: 800 – 5 A.

Classe de exatidão: 10B200.

A tabela 13, a seguir, mostra o restante dos parâmetros dimensionados para TC utilizado no setor de 138 kV. Já a tabela 13, mostra os mesmos parâmetros dimensionados para os equipamentos instalados no setor de 13,8 kV.

Setor	138 kV
Tensão Máxima	145 kV
Tensão suportável de impulso atmosférico	650 kV
Tensão suportável à frequência industrial durante 1 min	275 kV
Frequência Nominal	60 Hz
Instalação	Externa
Fabricação	ABB
Modelo	IMB 145

Tabela 13 – Especificação dos transformadores de corrente do setor de 138 kV

Setor	13,8 kV
Tensão Máxima	15 kV
Tensão suportável de impulso atmosférico	110 kV
Tensão suportável à frequência industrial durante 1 min	34 kV
Frequência Nominal	60 Hz
Instalação	Cubículos Blindados
Fabricação	Epoxy
Modelo	BDE-2501

Tabela 14 – Especificação dos transformadores de corrente do setor de 13,8 kV

OBS.: As relações de transformação dos transformadores de corrente para o serviço de proteção foram obtidas através de correntes de curto-circuito estimadas. Portanto é necessário que

sejam adquiridos TC's com relações múltiplas no primário, tornando possível o aumento da relação nominal a partir do aumento do valor da corrente primária nominal do equipamento.

5.3.3 – Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial têm a função de possibilitar a medição de tensão em sistemas com tensão acima de 600 V. Para exercer sua função os transformadores de potencial devem ter as seguintes características:

- a) Erro mínimo na relação de transformação e no ângulo de fase;
- b) A queda de potencial a partir do regime em vazio até a plena carga deve ser muito pequena;
- c) Isolar circuito de baixa tensão do circuito de alta tensão;
- d) Reproduzir os efeitos transitórios e de regime do circuito de alta para o circuito de baixa.

5.3.3.1 – Características nominais

Para especificar um transformador de potencial devem ser mencionadas, as seguintes características:

- a) Tensões primárias, secundárias, nominais e as relações nominais;
- b) Tensão máxima do equipamento e nível de isolamento;
- c) Cargas nominais;
- d) Classe de exatidão;
- e) Grupo de ligação;
- f) Uso: interior ou exterior.

5.3.3.2 – Dimensionamento do equipamento

A norma NBR 6855/1992 foi utilizada no dimensionamento deste equipamento. Para o TP conectado na linha de 138 kV, estimou-se uma potência de 12,5 VA, já que somente um voltímetro está conectado em seu secundário. A classe de exatidão normalizada escolhida foi a de 0,6.

Então TP da linha de 138 kV, tem-se a seguinte nomenclatura:

0,6P12,5

O TP da barra de 138 kV possui tanto relés de medição quanto de proteção ligados em seu secundário. Foi estimado para todas essas cargas somadas uma potência no valor de 200 VA, então tem-se que:

0,6P200

Cada TP do setor de 13,8 kV é responsável pela medição de 4 dos 8 alimentadores do sistema. Cada alimentador possui um wattímetro de um varímetro, usa-se uma potência de 200VA, tem-se que:

0,6P200

A tabela 15, a seguir, mostra outras características dos TP's dimensionadas a partir da norma citada.

	138 kV(linha)	138 kV(barra)	13,8 kV
Tensão Máxima	145 kV	145 kV	15 kV
Tensão Nominal Primária	$138000/\sqrt{3}$ kV	$138000/\sqrt{3}$ kV	$13800/\sqrt{3}$
Tensão Nominal Secundária	$115/\sqrt{3}$ V	$115/\sqrt{3}$ V – $115/\sqrt{3}$ V (2 secundários)	$115/\sqrt{3}$ V
Tensão Primária suportável de impulso atmosférico	650 kV	650 kV	110 kV
Norma	ABNT	ABNT	ABNT
Frequência Nominal	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Ligação do Primário	Y - aterrado	Y - aterrado	Y - aterrado
Ligação do 1º secundário	Y - aterrado	Y - aterrado	Y - aterrado
Ligação do 2º secundário	-	Y - aterrado	-
Instalação	Externa	Externa	Cub. Blindados
Fabricante	ABB	ABB	ABB
Modelo	EMF 145	EMF 145	TJC 5

Tabela 15- Especificação dos transformadores de potencial.

5.4 - Pára-raios

São dispositivos que têm a função de proteger os equipamentos elétricos contra sobretensões transitórias elevadas. Estes equipamentos devem atuar de forma a:

- Limitar impulsos de tensão em equipamentos, descarregando para a terra a corrente de surto que atinge a subestação;
- Ter uma boa capacidade de isolamento a tensão nominal, ou seja, não adicionar riscos ao barramento ou à linha ao qual é conectado.

Quanto à classificação podemos dividir esses equipamentos em pára-raios tipo válvula e pára-raios tipo expulsão.

Neste projeto utilizou-se pára-raios do tipo válvula como na maioria do sistema elétrico brasileiro. Este pára-raios é constituído de:

- Resistor variável série: São elementos resistivos, que por sua característica não linear de tensão x corrente, funcionam como:

a) Resistência de baixo valor para correntes de descarga de elevada intensidade, limitando desta forma a tensão entre os terminais do pára-raios;

b) Resistência de alto valor à tensão nominal de frequência industrial, limitando desta maneira a intensidade da corrente.

- Centelhadores: São um ou mais espaçamentos intencionais entre eletrodos, que tem por finalidade escoar para a terra os surtos de corrente na ocorrência do surto atmosférico.

- Bobina magnética: Situada entre os centelhadores, é magnetizada durante o surto e tem por finalidade extinguir o arco entre os eletrodos.

-Resistores lineares: São ligados em paralelo com centelhadores, distribuem de maneira uniforme as sobretensões transientes nos mesmos;

- Capacitores: Também são ligados em paralelo com os centelhadores e resistores lineares, distribuem melhor as sobretensões;

- Anel equalizador;

- Invólucro;

- Base e contadores de descargas;

5.4.1 – Características Nominais

Seguem algumas características importantes do equipamento:

a) Tensão nominal – é a máxima tensão de operação para a qual o pára-raios é capaz de interromper a corrente na frequência do sistema. Ou seja, é a máxima tensão eficaz

fase-terra em que o pára-raios pode ser instalado. Esta tensão é o fator determinante na escolha do equipamento. De uma maneira geral pode-se dizer que:

$$V_{\text{nom}} = V_{\text{max}} \times \text{fator de aterramento} \times \text{fator de segurança}$$

Onde:

V_{max} = Tensão máxima de operação do sistema;

Fator de aterramento = 0,8 para sistemas efetivamente aterrados;

Fator de segurança = 1,05

- b) Corrente de descarga – é a corrente de impulso ou de surto que percorre o pára-raios depois do centelhamento.
- c) Corrente nominal de descarga – é o valor de pico da corrente de descarga para uma forma de onda 8/20 μ s, utilizada para classificar os pára-raios. Neste projeto utilizou-se uma corrente de 10kA.
- d) Tensão disruptiva de impulso – é o maior valor de tensão de uma onda de impulso de polaridade determinada, que dá maior valor aplicado aos terminais de pára-raios, antes de sua descarga.
- e) Tensão disruptiva à frequência industrial – é o valor eficaz da menor tensão senoidal, de frequência industrial, que produzirá descarga quando aplicada aos terminais do pára-raios.

5.4.2 – Dimensionamento do equipamento

a) Setor de 138 kV :

$V_{\text{max}} = 145$ kV, tensão máxima de operação do sistema.

$$V_{\text{nom}} = 145 \text{ kV} \times 0,8 = 116 \text{ kV}.$$

Valor padronizado: $V_{\text{nom}} = 120 \text{ kV}$.

b) Setor de 13,8 kV :

$V_{\text{max}} = 15 \text{ kV}$, tensão máxima de operação do sistema.

$$V_{\text{nom}} = 15 \text{ kV} \times 0,8 = 12 \text{ kV}.$$

Valor padronizado: $V_{\text{nom}} = 12 \text{ kV}$

A tabela 16 mostra as características do equipamento utilizado:

Setor	138 kV	13,8 kV
Tensão Nominal	120 kV	12 kV
Corrente nominal de descarga	10 kA	10 kA
Instalação	Externa	Cubículos Blindados
Fabricante	Balestro	Balestro
Modelo	PBPE 120/10/2	PBPE 12/10/2

Tabela 16- Especificação dos pára-raios

6 – Arranjo Físico.

O arranjo físico foi desenvolvido atendendo aos critérios de segurança, técnicos, de facilidade de inspeção e manutenção, de confiabilidade e de economia.

6.1 – Setor de 138 kV:

Quanto ao tipo construtivo das barras de 138KV, optou-se por barramento flexível na maioria dos trechos da SE. A exceção é o trecho que vai da seccionadora 89-L1B, até a seccionadora 89-T1, neste optou-se por barramento rígidos.

6.2 – Setor de 13,8 kV:

A subestação no setor de 13,8KV terá seus equipamentos instalados em cubículos blindados. Estes cubículos impedem qualquer tipo de contato acidental com os equipamentos ou partes energizadas. Possuem ainda sinalização referente a cada equipamento e intertravamentos que impossibilitam manobras indevidas.

6.3 – Casa de controle:

Esta casa tem como finalidade abrigar os equipamentos de proteção, controle, medição e serviços auxiliares da subestação.

Localiza-se próxima ao pátio, sendo portanto de fácil acesso.

6.4 – Estruturas:

O concreto foi utilizado para a confecção das estruturas.

6.5 – Cercas:

Foi utilizada uma cerca externa para evitar acesso de terceiros na área de trabalho da subestação. Ela é constituída por uma tela de arame galvanizado, com altura de 3 metros acima do nível do solo. Existe uma abertura no local onde está situado o portão de entrada para a SE-UFRJ.

6.6 – Espaçamentos elétricos.

A tabela 17 mostra os valores dos espaçamentos elétricos normalizados e dos valores utilizados na SE-UFRJ.

Espaçamentos mínimos	Valores Normalizados para o setor 138 kV (m)	Valores Utilizados no setor 138 kV (m)
Entre fases para barras flexíveis	3,00	3,00
Entre fase e terra para barras flexíveis	2,20	2,50
Altura mínima do solo das partes de tensão reduzida à zero (isoladores, porcelanas e etc)	2,50	2,70
Altura mínima do solo, das partes vivas.	4,50	4,70

Tabela 17- Espaçamentos elétricos.

7- Serviços Auxiliares.

Os serviços auxiliares têm por finalidade prover o suprimento, em baixa tensão, dos dispositivos e equipamentos essenciais à manobra, proteção, medição, iluminação, controle e supervisão das instalações da subestação. Ele é composto de um sistema alimentado por corrente alternada e outro alimentado por corrente contínua.

O sistema de corrente alternada é constituído por dois transformadores de serviços auxiliares (TRAFO SA-1 e TRAFO SA-2), por um gerador diesel e pelos painéis de distribuição. Já o sistema de corrente contínua possui um banco de baterias e um retificador. Em condições normais de operação, este retificador alimenta o barramento CC convertendo a tensão fornecida por um dos circuitos de corrente alternada. Em situações de emergência ou no caso de interrupção do suprimento de corrente alternada, o barramento é alimentado pelo banco de baterias.

7.1-Esquema de operação.

A escolha do esquema a ser adotado depende da importância atribuída à subestação no contexto global do sistema elétrico, e de fatores como: grau de confiabilidade, manutenção, continuidade do serviço, aspectos econômicos, entre outros.

Neste projeto foi utilizado o esquema de Barra simples seccionada. Tal seccionamento é realizado por um disjuntor automático de ação térmica e magnética, possibilitando a separação do barramento em duas partes: cargas essenciais e cargas não essenciais.

As cargas essenciais em condições normais de operação, são supridas por um transformador de 13.800/220 V (TRAFO SA-1), e em situações de emergência por um gerador diesel.

Já as cargas não essenciais são supridas por um transformador de 13.800/220 V (TRAFO SA-2) em condições normais, em situações de emergência essas cargas são desligadas.

7.2- Levantamento de carga.

Os circuitos elétricos que compõem os serviços auxiliares foram separados da seguinte forma: No setor de corrente alternada foram utilizados 31 (trinta e um circuitos), do circuito 1 (um) ao circuito 19 (dezenove) estão as cargas essenciais, e do circuito 20 (vinte) até o circuito 31 (trinta e um) estão as cargas não essenciais. No setor de corrente contínua utilizou-se um total de 15 (quinze) circuitos.

Os valores utilizados como base, para os cálculos desses circuitos, foram estimados de forma que o dimensionamento final fosse satisfatório.

7.2.1 – Cargas essenciais em corrente alternada.

Seguem abaixo os dimensionamentos de cada carga essencial em corrente alternada:

a) Circuito 1 – Ventilação forçada TRAFO T-1.

12 unidades de potência com 1HP cada.

$$P = 12 \times 1 \times 746 = 8952 \text{ W}$$

$$I = 8952 / 220 \times \sqrt{3} = 23,5 \text{ A.}$$

Disjuntor: 30 A - 3 Φ

b) Circuito 2 – Ventilação forçada TRAFÓ T2

12 unidade de potência com 1HP cada.

$$P = 12 \times 1 \times 746 = 8952 \text{ W}$$

$$I = 8952 / 220 \times \sqrt{3} = 23,5 \text{ A.}$$

Disjuntor: 30 A - 3Φ

c) Circuito 3 – Carregador de baterias.

$$S = 15 \text{ KVA}$$

$$I = 15000 / 220 \times \sqrt{3} = 39,4 \text{ A}$$

Disjuntor: 50 A - 3Φ

d) Circuito 4 – Motores dos disjuntores 52-L1 / 52-L2.

$$S = 600 \text{ VA / disjuntor}$$

$$I = 1200 / 220 = 5,5 \text{ A}$$

Disjuntor: 10 A - 2Φ

e) Circuito 5 – Motores dos disjuntores 52-T1 / 52-T2.

$$S = 600 \text{ VA / disjuntor}$$

$$I = 1200 / 220 = 5,5 \text{ A}$$

Disjuntor: 10 A - 2Φ

f) Circuito 6 – Motores dos disjuntores 152-T1 / 152-T2.

$$S = 600 \text{ VA / disjuntor}$$

$$I = 1200 / 220 = 5,5 \text{ A}$$

Disjuntor: 10 A - 2 Φ

g) Circuito 7 - Motores dos disjuntores 152-B / 152-A1 / 152-A2.

$$S = 600 \text{ VA} / \text{disjuntor}$$

$$I = 1800 / 220 = 8,2 \text{ A}$$

Disjuntor: 10 A - 2 Φ

h) Circuito 8 - Motores dos disjuntores 152-A3 / 152-A4 / 152-A5.

$$S = 600 \text{ VA} / \text{disjuntor}$$

$$I = 1800 / 220 = 8,2 \text{ A}$$

Disjuntor: 10 A - 2 Φ

i) Circuito 9 - Motores dos disjuntores 152-A6 / 152-A7 / 152-A8.

$$S = 600 \text{ VA} / \text{disjuntor}$$

$$I = 1800 / 220 = 8,2 \text{ A}$$

Disjuntor: 10 A - 2 Φ

j) Circuito 10 - Iluminação da Casa de Controle.

8 lâmpadas incandescentes de 100 W cada.

$$P = 8 \times 100 = 800 \text{ W.}$$

$$I = 800 / 127 = 6,2 \text{ A.}$$

Disjuntor: 10 A - 1 Φ .

k) Circuito 11 - Iluminação do Pátio.

20 lâmpadas de vapor de mercúrio de 400 W cada.

$$P = 20 \times 400 = 8000 \text{ W.}$$

$$I = 8000 / 220 = 36,4 \text{ A.}$$

Disjuntor: 40 A 2 Φ .

l) Circuito 12 - Tomadas Monofásicas.

4 tomadas de 1200 W cada.

$$P = 4 \times 1200 = 4800 \text{ W}$$

$$I = 4800 / 127 = 37,8 \text{ A.}$$

Disjuntor: 40 A - 1 Φ .

m) Circuito 13 - Tomadas Trifásicas.

4 tomadas de 1200 W cada.

$$P = 4 \times 1200 = 4800 \text{ W}$$

$$I = 4800 / 220 \times \sqrt{3} = 12,6 \text{ A.}$$

Disjuntor: 15 A - 3 Φ .

n) Circuito 14 – Comunicação.

$$S = 1,0 \text{ KVA}$$

$$I = 1000 / 220 \times \sqrt{3} = 2,7 \text{ A.}$$

Disjuntor: 10 A - 3 Φ .

o) Circuito 15 – Comutador sob carga T1

1 comutador com potência de 10 kW.

$$I = 10000 / 220 \times \sqrt{3} = 26,24 \text{ A}$$

Disjuntor: 30 A - 3Φ.

p) Circuito 16 – Comutador sob carga T2

1 comutador com potência de 10 kW.

$$I = 10000 / 220 \times \sqrt{3} = 26,24 \text{ A}$$

Disjuntor: 30 A - 3Φ.

q) Circuito 17 – Reserva

Disjuntor: 30 A - 3Φ.

r) Circuito 18 – Reserva

Disjuntor: 10A - 3Φ.

s) Circuito 19 -- Reserva

Disjuntor: 10 A - 3Φ.

A tabela 18 mostra um resumo dos circuitos elétricos essenciais da subestação.

Circuito	Carga	S (VA)	Disjuntor (A)	Φ
1	Ventilação forçada TRAFO 1	8952	30	3
2	Ventilação forçada TRAFO 2	8952	30	3
3	Carregador de Baterias	15000	50	3

4	Mot. disjuntores 52-L1 / 52- L2.	1200	10	2
5	Mot. disjuntores 52-T1 / 52- T2.	1200	10	2
6	Mot. disjuntores 152-T1 / 152-T2.	1200	10	2
7	Mot. disjuntores 152-AB / 152-A1 / 152-A2.	1800	10	2
8	Mot. disjuntores 152-A3 / 152-A4 / 152-A5.	1800	10	2
9	Mot. disjuntores 152-A6 / 152-A7 / 152-A8.	1800	10	2
10	Iluminação da casa de controle	800	10	1
11	Iluminação do Pátio	8000	40	2
12	Tomada Monofásica	4800	40	1
13	Tomada Trifásica	4800	15	3
14	Comunicação	1000	10	3
15	Comutador sob carga T1	10000	30	3
16	Comutador sob carga T2	10000	30	3
17	Reserva	8952	30	3
18	Reserva	1200	10	3
19	Reserva	1200	10	3

Tabela 18-Circuitos elétricos essenciais.

7.2.2 – Cargas não essenciais em corrente alternada.

Os cálculos das cargas não essenciais são similares aos das cargas essenciais, portanto a tabela 19 mostra um resumo desses circuitos.

Circuito	Carga	S (VA)/ elemento	Nº de elementos	S(total)	I (A)	Disjuntor (A)	Φ
20	Iluminação do Pátio	100	8	800	6,3	10	1
21	Iluminação do Pátio	400	20	8000	36,4	40	2
22	Iluminação do Pátio	400	20	8000	36,4	40	2
23	Ar condicionado central	7460	1	7460	19,6	25	3
24	Ilum./Aquecim. da Sala dos Cubículos	2500	1	2500	19,7	25	1
25	Ilum/Aquecimento dos Painéis	1500	1	1500	11,8	15	1
26	Tomada Monofásica	1200	4	4800	37,8	40	1
27	Tomada Monofásica	1200	4	4800	37,8	15	1
28	Tomada Trifásica	1200	4	4800	12,6	15	3
29	Tomada Trifásica	1200	4	4800	12,6	15	3
30	Reserva	-	-	7460	-	25	3
31	Reserva	-	-	1000	-	10	3

Tabela 19-Circuitos elétricos não essenciais

7.2.3 – Cargas em corrente contínua.

A tabela 20 mostra os dados de carga para os circuitos em corrente contínua.

Circuito	Carga	P(W)	Disjuntor (A)
1	Controle dos motores dos disjuntores 52-L1 / 52- L2. (Abertura e fechamento)	500	5
2	Controle dos motores dos disjuntores 52-T1 / 52- T2. (Abertura e fechamento)	500	5
3	Controle dos motores dos disjuntores 152-T1 / 152-T2. (Abertura e fechamento)	500	5
4	Controle dos motores dos disjuntores 152-B / 152-A1 / 152-A2. (Abertura e fechamento)	750	10
5	Controle dos motores dos disjuntores 152-A3 / 152-A4 / 152-A5. (Abertura e fechamento)	750	10
6	Controle dos motores dos disjuntores 152-A6 / 152-A7 / 152-A8. (Abertura e fechamento)	750	10
7	Controle das Chaves seccionadoras	100	5
8	Iluminação da casa de controle	600	5
9	Painéis de comando do setor de 138 kV e de proteção	150	5
10	Painéis de comando do setor de 138 kV e de proteção	150	5
11	Painéis de comando do setor de 13,8kV	150	5
12	Sistema de controle	1000	10
13	Reserva	1000	10
14	Reserva	750	10
15	Reserva	300	5

Tabela 20-Circuitos elétricos em corrente contínua.

7.3- Dimensionamento dos Transformadores de Serviços auxiliares.

Todas as cargas essenciais e não essenciais dos circuitos devem ser supridas pelos transformadores de serviços auxiliares. Para o melhor entendimento da carga as tabelas 21, 22 e 23 dividem os circuitos em trifásicos, bifásicos e monofásicos respectivamente.

Circuitos 3 Φ	Carga	S (VA)
C1- Carga essencial	Ventilação forçada TRAF0 1	8952
C2- Carga essencial	Ventilação forçada TRAF0 2	8952
C3- Carga essencial	Carregador de Baterias	15000
C13- Carga essencial	Tomada Trifásica	4800
C14- Carga essencial	Comunicação	1000
C15- Carga essencial	Comutador sob carga T1	10000
C16- Carga essencial	Comutador sob carga T2	10000
C17- Carga essencial	Reserva	8952
C18- Carga essencial	Reserva	1200
C19- Carga essencial	Reserva	1200
C23- Carga não essencial	Ar condicionado central	7460
C28- Carga não essencial	Tomada Trifásica	4800
C29- Carga não essencial	Tomada Trifásica	4800

Tabela 21- Circuitos trifásicos dos serviços auxiliares

Circuitos 1 Φ	Denominação	S (VA)
C4- Carga essencial	Mot. disjuntores 52-L1 / 52- L2.	1200
C5- Carga essencial	Mot. disjuntores 52-T1 / 52- T2.	1200
C6- Carga essencial	Mot. disjuntores 152-T1 / 152-T2.	1200
C7- Carga essencial	Mot. disjuntores 152-AB / 152-A1 / 152-A2.	1800
C8- Carga essencial	Mot. disjuntores 152-A3 / 152-A4 / 152-A5.	1800
C9- Carga essencial	Mot. disjuntores 152-A6 / 152-A7 / 152-A8.	1800
C11- Carga essencial	Iluminação do Pátio	8000
C21- Carga não essencial	Iluminação do Pátio	8000
C22- Carga não essencial	Iluminação do Pátio	8000

Tabela 22- Circuitos bifásicos dos serviços auxiliares

Circuitos 1 Φ	Denominação	S (VA)
C10- Carga essencial	Iluminação da casa de controle	800
C12- Carga essencial	Tomada Monofásica	4800
C20- Carga não essencial	Iluminação do Pátio	800
C24- Carga não essencial	Ilum./Aquecim. da Sala dos Cubículos	2500
C25- Carga não essencial	Ilum/Aquecimento dos Painéis	1500
C26- Carga não essencial	Tomada Monofásica	4800
C27- Carga não essencial	Tomada Monofásica	4800

Tabela 23- Circuitos monofásicos dos serviços auxiliares

A soma da potência das cargas trifásicas é de 87,2 KVA, as das cargas bifásicas é de 33 KVA e a das monofásicas é de 20 KVA. A potência nominal desses transformadores é calculada através da soma de todas as potências das cargas que são ligadas a cada transformador.

A demanda total de potência é de 125 KVA, foram então utilizados para os serviços auxiliares dois transformadores trifásicos de 13.800 / 220 V com potência de 100 KVA e reatância de 5% (base 100KVA).

Para o dimensionamento dos disjuntores ligados a estes transformadores, temos:

$$I = 100.000 / (220 \times \sqrt{3}) = 262,4 \text{ A.}$$

Pode-se então utilizar para a proteção destes transformadores disjuntores de 300 A com 3 pólos.

7.4 - Dimensionamento do gerador a diesel.

A função do gerador diesel é alimentar os circuitos de cargas essenciais no caso de falta no transformador de serviços auxiliares, TRAF0 SA-1. Sendo assim este grupo gerador deve possuir

uma potencia nominal igual ou superior a demanda de potência dessas cargas que é de $S = 90.789$ VA.

Para os serviços auxiliares da subestação utilizou-se um gerador de potência de 100 KVA. Para este circuito necessita-se de um disjuntor, então temos:

$$I = 100.000 / 220 \times \sqrt{3} = 262,4 \text{ A.}$$

Assim sendo, para a proteção do grupo diesel, foi utilizado um disjuntor de 3 pólos e 300 A.

7.5 – Nível de curto-circuito do barramento CA.

Para se encontrar o nível de curto-circuito calcula-se as reatâncias de seqüência do transformador auxiliar (x_{Taux}).

$$x_{Taux} = 0,05 \times (100 \times 10^6 / 100 \times 10^3).$$

$$x_{Taux} = 50 \text{ pu.}$$

Cálculo da corrente de curto-circuito trifásico $I_{CC3 \phi}$.

$$i_{CC3 \phi} = 1 / (x_{Taux}).$$

$$i_{CC3 \phi} = 1 / (50 \text{ p.u.}).$$

$$i_{CC3 \phi} = 0,02 \text{ pu.}$$

$$I_{CC3 \phi} = i_{CC3 \phi} \times I_{base}.$$

$$I_{CC3 \phi} = 0,02 \times (100 \times 10^6 / 220. \sqrt{3})$$

$$I_{CC3 \phi} = 5.248,64 \text{ A.}$$

7.6 – Banco de Baterias.

O banco de baterias de uma subestação deve ser responsável pela alimentação das cargas de emergência no caso de falta de alimentação de corrente alternada.

Existem baterias do tipo alcalina e ácida. Apesar das baterias ácidas serem mais baratas, a bateria que será utilizada será a alcalina. Esta escolha foi feita devido a maior durabilidade e menor necessidade de manutenção desta em relação a anterior.

Dados do projeto:

- a) Tensão nominal do barramento CC – É a tensão de alimentação da barra de corrente contínua.

$$V_{\text{nom}} = 125 V_{\text{CC}}$$

- b) Tensão máxima dos equipamentos CC – É o valor máximo imposto pelos instrumentos de corrente contínua, é definida pela norma utilizada.

$$V_{\text{max}} = 140 V_{\text{CC}}$$

- c) Tensão mínima dos equipamentos CC – é o valor mínimo imposto pelos instrumentos de corrente contínua, é definida pela norma utilizada

$$V_{\text{mín}} = 90 V_{\text{CC}}$$

Dados da bateria.

- a) Tensão de flutuação por elemento – É a tensão que mantém a bateria ligada.

$$V_{\text{flut}} = 1,4 V_{\text{CC}}$$

- b) Tensão de descarga por elemento – É a menor tensão que uma bateria pode atingir, conseguindo um aumento substancial de carga em relação ao tempo.

$$V_{\text{des}} = 1,1 V_{\text{CC}}$$

c) Tensão de carga profunda por elemento – É a tensão capaz de carregar a bateria em um curto espaço de tempo.

$$V_{cp} = 1,7 V_{CC}$$

Cálculo do número de elementos do Banco de baterias (N):

$$N_1 = V_{max} / V_{flut} = 140 / 1,4$$

$$N_1 = 100 \text{ elementos.}$$

$$N_2 = V_{min} / V_{des} = 90 / 1,1$$

$$N_2 = 81,8 \text{ elementos.}$$

O banco de baterias utilizado possui então 81 elementos.

Dados do banco de baterias:

$$V_{flut} = 1,4 \times 81 = 113,4 V_{CC}$$

$$V_{des} = 1,1 \times 81 = 89,1 V_{CC}$$

$$V_{cp} = 1,7 \times 81 = 137,7 V_{CC}$$

Cálculo da capacidade nominal do banco de baterias (C_{nom}).

$$C_{nom} = (I_1 / 60) + (I_2 \times 10 / 60) + (I_3 \times 300 / 60) + (I_4 \times 10 / 60)$$

Cargas de 1 minuto: Abertura dos 4 disjuntores de 138 kV.

$$P = 250 \text{ W / disjuntor.}$$

$$I = 4 \times 250 / 125 = 8 \text{ A}$$

$$I_{1\text{min}} = 8 \text{ A}$$

Cargas de 10 minutos : Inexistentes.

$$I_{10\text{ min}} = 0 \text{ A.}$$

Cargas de 5 horas : Casa de Controle.

$$P = 600 \text{ W}$$

$$I = 600 / 125 = 4,8 \text{ A}$$

Sistema de Controle

$$P = 1000 \text{ W}$$

$$I = 1000 / 125 = 8 \text{ A}$$

Painéis de Comando de 138 kV e de proteção

$$P = 150 \text{ W}$$

$$I = 150 / 125 = 1,2 \text{ A}$$

Painéis de Comando de 138 kV e de proteção

$$P = 150 \text{ W}$$

$$I = 150 / 125 = 1,2 \text{ A}$$

Painéis de Comando de 13,8 kV

$$P = 150 \text{ W}$$

$$I = 150 / 125 = 1,2 \text{ A}$$

$$I_{5\text{ horas}} = 16,4 \text{ A}$$

Cargas de 10 minutos ao final do ciclo: Fechamento

$$P = 250 \text{ W / disjuntor.}$$

$$I = 4 \times 250 / 125 = 8 \text{ A}$$

$$I_{10 \text{ min}} = 8 \text{ A}$$

$$I_1 = I_{1 \text{ min}} + I_{5 \text{ horas}} = 8,0 + 16,4 = 24,4 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{10 \text{ min}} + I_{5 \text{ horas}} = 0 + 16,4 = 16,40 \text{ A}$$

$$I_3 = I_{5 \text{ horas}} = 16,4$$

$$I_4 = I_{10 \text{ min}} + I_{5 \text{ horas}} = 8,0 + 16,4 = 24,40 \text{ A}$$

$$C_{\text{nom}} = 89,21 \text{ Ah}$$

A bateria foi dimensionada com uma capacidade nominal de $C_{\text{nom}} = 100 \text{ Ah}$

Capacidade Nominal	100 Ah
Fabricante	NIFE - LORICA
Modelo	4 TM -3P

Tabela 24-Dados da bateria.

7.7 – Carregador de baterias.

O carregador de bateria trabalha juntamente com o banco de baterias na alimentação em corrente contínua dos serviços auxiliares. Sua função básica é a de fornecer carga profunda e corrente de flutuação ao banco, mantendo a corrente de saída em seu valor nominal.

Dimensionando o disjuntor deste carregador, temos:

$$I_{\text{cp}} = 40\% C_{\text{nom}} = 40 \text{ A}$$

Corrente em carga de flutuação.

$$I_{\text{flut}} = (K \times C_{\text{nom}}) / H + I_{\text{p}}$$

Onde:

K – fator de segurança;

$$K = 1 / \eta$$

η – Rendimento;

$$\eta = 0,80$$

H – Período de recarga em horas;

$$H = 5 \text{ h}$$

I_p – Corrente permanente em amperes;

$$I_p = 2 \text{ A}$$

$$I_{\text{flut}} = 30,6 \text{ A}$$

Como : $I_{cp} > I_{\text{flut}}$

$$P_{\text{nom}} = V_{\text{nom}} \times I_{cp} = 125 \times 40 = 5,0 \text{ kW.}$$

$$S_{\text{nom}} = P_{\text{nom}} / \eta \cos\theta = 5,0 / 0,85 \times 0,85 = 6,92 \text{ KVA}$$

$$I = 6920 / 220 \cdot \sqrt{3} = 18,16 \text{ A}$$

Sendo assim, para a proteção do carregador de baterias, utilizou-se um disjuntor de 3 pólos de 30 A.

Equipamento utilizado:

Tensão Nominal	125 VCC
Tensão de Alimentação	220 VCA
Capacidade Nominal das Baterias	100 Ah
Frequência	60 Hz
Rendimento	0,85
Fator de Potência	0,85
Fabricante	Dieletro
Modelo	DI-BE

Tabela 25-Dados do Carregador de baterias.

8 – Conclusão

A implementação da subestação da UFRJ é uma boa alternativa para a universidade reduzir os gastos com energia elétrica. Além da possibilidade de contratação de uma energia com menores custos, a alimentação em 138 kV garante o atendimento à crescente demanda, além de melhorar a confiabilidade de suprimento de energia elétrica, já que o sistema ficaria diretamente ligado ao setor de transmissão da concessionária LIGHT S/A.

O produto final deste trabalho é o anteprojeto da nova SE 138-13,8kV da UFRJ, que é sintetizado nos seguintes desenhos (em anexo):

- a) HJr-1- Diagrama Unifilar Principal da SE-UFRJ.
- b) HJr-2- Arranjo Físico Planta da SE-UFRJ.
- c) HJr-3- Arranjo Físico Cortes da SE-UFRJ
- d) HJr-4- Diagrama Unifilar de Serviços Auxiliares da SE-UFRJ.

9- Referências Bibliográficas

- [1] Caminha, A.C. – Introdução à Proteção de Sistemas Elétricos – Edgard Blucher Ltda – 1977.
- [2] Kindermann, G. – Proteção de Sistemas Elétricos de Potência – UFSC- 1999.
- [3] Herszterg, I. – Notas de aula do curso de Subestações – UFRJ – Período 2009/01.
- [4] Nemésio, J – Apostila de Equipamentos Elétricos, Disjuntores – UFRJ – Período 2009/01.
- [5] Nemésio, J – Apostila de Equipamentos Elétricos, Transformadores de Corrente – UFRJ – Período 2009/01.
- [6] Nemésio, J – Apostila de Equipamentos Elétricos, Transformadores de Potencial – UFRJ – Período 2009/01.
- [7] Nemésio, J – Apostila de Equipamentos Elétricos, Chaves Seccionadoras – UFRJ – Período 2009/01.
- [8] Stevenson, W.D. – Power System Analysis – Ed. MC GRAW HILL.
- [9] Pró-Reitoria de Desenvolvimento e Planejamento - Subestação UFRJ, Estudos Técnicos – UFRJ – Julho 2008.
- [10] NBR 6855 / 1992- Transformador de Potencial Indutivo – ABNT - 1992
- [11] NBR 6856 / 1992- Transformador de Corrente – ABNT - 1992
- [12] NBR IEC 62271-100:2006 – Disjuntores de Alta Tensão – ABNT - 2006
- [13] NBR IEC 62271-102:2006– Seccionador , chaves de terra e aterramento rápido – ABNT - 2006

ANEXO I

ANEXO II