



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## Relatório de Estágio Supervisionado

**Empresa: MANA Engenharia e Consultoria S.A.**



Aluno: Alex de Oliveira Ferreira Leal.  
Orientador: Francisco Chagas

Campina Grande  
Outubro de 2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

## Relatório de Estágio Supervisionado

**Empresa: MANA Engenharia e Consultoria S.A.**

*Relatório de Estágio Supervisionado apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

---

Alex de Oliveira Ferreira Leal  
Aluno

---

Francisco Chagas  
Orientador

Campina Grande  
Outubro de 2008

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Apresentação das Empresas Envolvidas</b> .....	<b>3</b>
3.1	MANA Engenharia e Consultoria S.A. ....	3
3.1.1	Estrutura Organizacional e Descrição do Projeto .....	4
3.2	PETROBRAS .....	7
<b>4</b>	<b>Softwares Utilizados</b> .....	<b>10</b>
4.1	AutoCAD .....	10
<b>5</b>	<b>Fundamentação teórica</b> .....	<b>10</b>
5.1	Sistemas Elétricos .....	10
5.1.1	Diagramas Unifilares .....	11
5.1.2	Faltas Simétricas .....	11
5.2	Instalações Elétricas .....	14
5.2.1	Dimensionamentos de Condutores .....	14
5.2.1.1	Seção Mínima .....	14
5.2.1.2	Capacidade de condução de corrente .....	15
5.2.1.3	Queda de Tensão .....	16
5.2.1.4	Curto-Circuito .....	18
5.2.2	Comando e Proteção dos Circuitos .....	19
5.2.2.1	Chaves Seccionadoras .....	19
5.2.2.2	Contatores .....	20
5.2.2.3	Fusíveis .....	20
5.2.2.4	Disjuntores .....	22
5.2.2.5	Relés de Tempo .....	24
5.3	Técnicas de Medição .....	25
5.3.1	Transformadores de Corrente .....	25
5.3.2	Transformador de Potencial .....	26
5.4	Proteção de Sistemas Elétricos .....	27
5.4.1	Relés de Proteção .....	28
<b>6</b>	<b>Atividades Realizadas</b> .....	<b>30</b>
6.1	Atividades Iniciais e Leitura de Normas e Procedimentos .....	30
6.2	Confecção de Memória de Cálculo de Alimentadores .....	31
6.3	Confecção da Memória de Cálculo de Transformadores de Potência .....	32
6.4	Confecção de Memória de Cálculo de Iluminação .....	33
6.5	Confecção de Memória de Cálculo de Partida de Motores .....	35
6.6	Confecção de Memória de Cálculo de Curto-Circuito Trifásico .....	36
6.7	Análise Técnica de Propostas de Fornecedores .....	39
6.8	Análise de Documentos de Fornecedores .....	40
<b>7</b>	<b>Avaliação e Conclusões</b> .....	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Bibliografia</b> .....	<b>42</b>

<b>Anexo A – Tabelas .....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo B – Solução de correntes em sistema desequilibrado utilizando o método de Fortescue .....</b>	<b>48</b>
<b>Anexo C – Características de transformadores de corrente .....</b>	<b>51</b>
<b>Anexo D – Características de transformadores de potencial .....</b>	<b>56</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Este relatório tem o intuito de descrever as atividades efetuadas no estágio supervisionado realizado no período de 08 de maio a 24 de outubro de 2008, na empresa MANA Engenharia e Consultoria S.A. O estágio foi desenvolvido na especialidade de Engenharia Elétrica, em conjunto com outras especialidades, para o contrato CTE01, que tem como cliente final a PETROBRAS, empresa petroleira que será brevemente descrita.

Inicialmente será feita uma apresentação da empresa, mostrando sua estrutura organizacional, física e pessoal, forma de trabalho, espaço físico e clientes.

Por fim, serão descritas as atividades realizadas e será feita uma associação com as disciplinas da grade curricular do Curso de Engenharia Elétrica.

## **2 OBJETIVO**

O estágio supervisionado tem como objetivo principal consolidar e desenvolver os conhecimentos adquiridos ao longo do Curso, visto que no mercado de trabalho pode-se aplicar a teoria aos projetos desenvolvidos acrescentando conhecimentos extracurriculares, que só podem ser obtidos com experiência profissional.

Na MANA Engenharia e Consultoria, uma empresa de projetos que presta serviço a grandes indústrias, o estágio tem normalmente duração de um ano, tendo como objetivo treinar o estagiário na área de projetos. Ao final, o estagiário será capaz de dimensionar condutores, calcular os níveis de curto-circuito nos barramentos dos painéis elétricos e terminais de transformadores, determinar a queda de tensão no sistema elétrico quando motores de grande porte são acionados, analisar e confeccionar diagramas unifilares, analisar tecnicamente propostas de fornecedores para compra de equipamentos, trabalhar em equipe e uma série de outras atividades relacionadas à área de projetos.

### 3 APRESENTAÇÃO DAS EMPRESAS ENVOLVIDAS

#### 3.1 MANA Engenharia e Consultoria S.A.

A **MANA ENGENHARIA E CONSULTORIA S.A.** teve seu início em 1994 e atualmente é uma das principais empresas de engenharia do país. Apresenta um portfólio bastante abrangente, oferecendo serviços de Gerenciamento, Planejamento nas seguintes especialidades: Processo, Mecânica, Instrumentação, Tubulação, Automação, Elétrica e Civil. Com a diversificação dos negócios, inseriu-se o fornecimento de serviços sob o regime de EPCs (*Engineering Procurement and Construction*), na qual se realiza o gerenciamento, projeto, construção e montagem da planta.

Os principais clientes da **MANA** são:

- ACRINOR – Acrilonitrila do Nordeste S.A.;
- BAYER POLÍMEROS S.A.;
- BRASKEM S.A.;
- CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.;
- COPENOR – Companhia Petroquímica do Nordeste;
- CYANAMID – Química do Brasil S.A.;
- PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.;
- PROMON ENGENHARIA S.A.;
- SCHLUMBERGER SERVIÇOS DE PETRÓLEO S.A.;
- TENENGE – Técnica Nacional de Engenharia S.A.;
- TRANSPETRO – Petrobrás Transporte S.A.

Atualmente, a **MANA** conta com, aproximadamente, 500 colaboradores em seu quadro funcional, que estão geograficamente divididos em dois escritórios: Salvador e Rio de Janeiro. Em Salvador, a sede, está alojada na Avenida ACM, 3840 – Edifício Capemi, no bairro da Pituba, ocupando uma área de 2.600 m<sup>2</sup> divididos em dois andares. Cada andar divide-se em duas alas que compõem os comitês, responsáveis pelo planejamento e gestão da empresa.

A **MANA** é uma empresa que investe em qualidade, sendo a primeira empresa na área de projetos no Norte e Nordeste a obter o certificado ISO 9001:2000. Dessa forma, com a implantação do Sistema de Gestão da Qualidade, todas as atividades e etapas dos processos produtivos foram padronizadas, não só no âmbito das especialidades de engenharia, como em todas as demais áreas de apoio.

### **3.1.1 Estrutura Organizacional e Descrição do Projeto**

A **MANA** como dito anteriormente compõe-se de comitês que se dividem em:

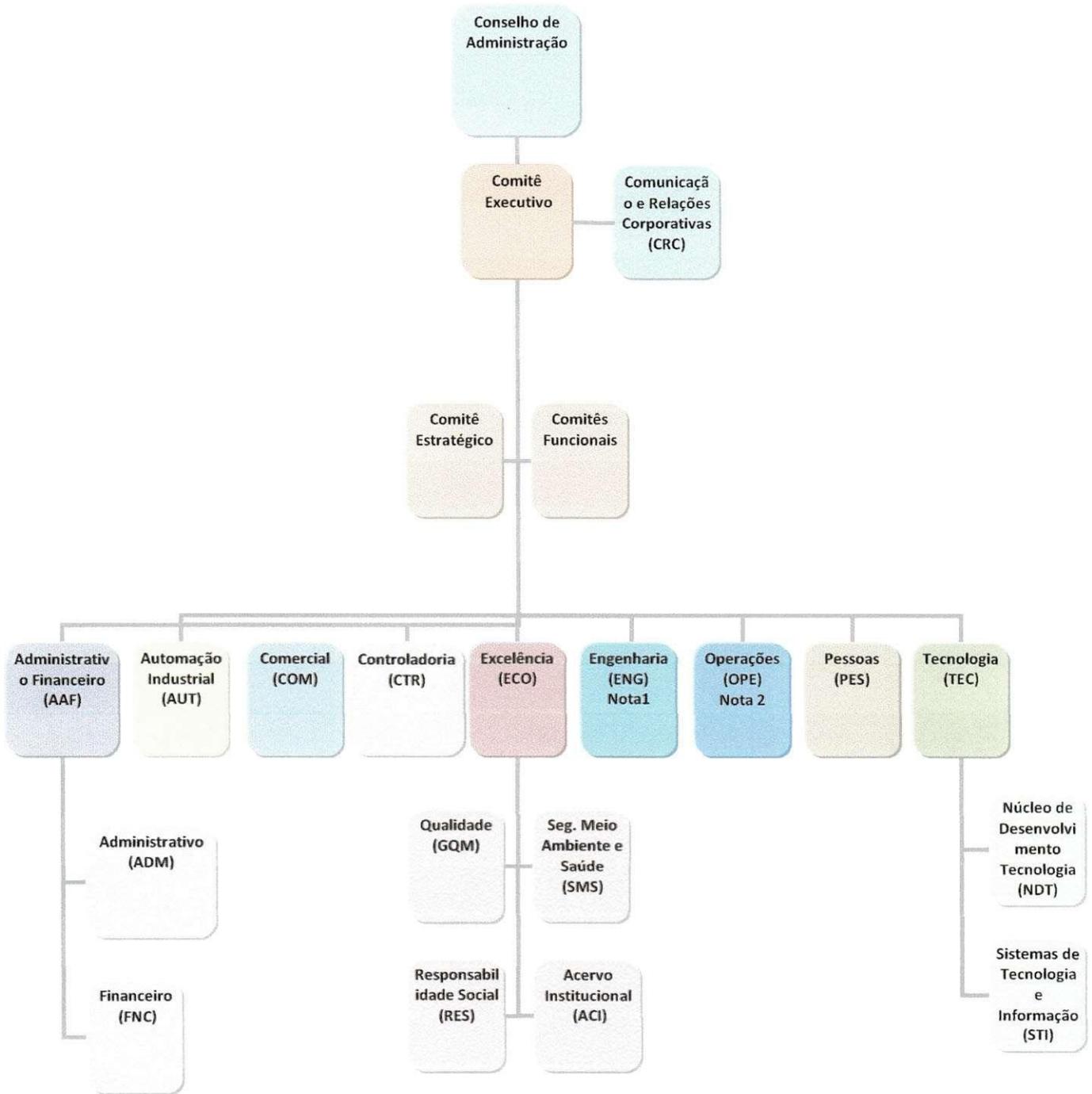
- Comitê Estratégico – Formado por gestores de áreas diversas, elabora o planejamento estratégico.
- Comitê Executivo – Formado pelos sócios controladores e pelo consultor Annibal Schleder, é responsável pela execução do planejamento estratégico, discussão e decisão de questões corporativas.
- Comitês Funcionais – Grupos formados por gestores, lideranças e membros de setores específicos, responsáveis pelos projetos do planejamento estratégico. Proporcionam uma organização das demandas empresariais, sob a forma de projetos, possibilitando maior qualidade, agilidade e autonomia nas decisões. Os comitês são o Comercial, Financeiro, Alianças, Pessoas, Produção,

Controladoria, Tecnologia e Outras Funcionalidades. Como o estágio foi realizado no Comitê Produção, será dada uma ênfase maior a esse comitê. Na Figura 3.1 encontra-se o organograma da empresa.

A Produção é dividida por grandes contratos, separada por clientes. Os maiores clientes como Petrobrás e Braskem possuem mais de um contrato e estes são nomeados de EPB10, EPB11, BSK05, BSK06, etc. Existem também os clientes “epecistas”, que oferecem serviços de engenharia, projeto e construção, eles contratam a Mana para realizar a engenharia do projeto, é o caso da Contreras e da Andrade Gutierrez. Cada contrato é dividido em operações, que variam de acordo com a localização e o tipo de produção da empresa. Com a Contreras, o nome das operações é o mesmo do contrato, como por exemplo, CTE01. Os colaboradores que trabalham para um contrato ficam em um mesmo espaço físico, facilitando assim, a comunicação entre os mesmos. Um organograma típico de contrato é visto na Figura 3.2.

O estágio relatado aqui se desenvolveu principalmente no contrato CTE01, que tem como cliente a Contreras, iniciou em março de 2008 e tem duração de nove meses. Nesse contrato estão contempladas atividades em todas as áreas de engenharia que a empresa dispõe: Elétrica, Civil, Mecânica, Tubulação, Instrumentação, Automação e Processos, além dos setores de Planejamento e Suprimentos. O contrato com a Contreras desenvolve suas atividades nos campos de produção de Miranga, Bahia, e tem como objetivo executar o projeto de instalação do sistema de injeção de CO<sub>2</sub>.

Os Empreendimentos do contrato são feitos através de uma lista de documentos predefinida pela PETROBRAS que devem ser emitidos nos prazos determinados. Alguns exemplos desses documentos são: Diagrama unifilar geral, memória de cálculo, Folha de dados de equipamentos, requisição de material, entre outros.



**Nota 1** – As atividades desenvolvidas pelas especialidades de engenharia (Civil, Elétrica, Instrumentação, Mecânica, Processo e Tubulação), bem como o controle dos Documentos Produto desenvolvido pela área de Documentação e Informação (DOC) são realizadas dentro das operações, dispostas funcionalmente no Organograma Típico do Contrato.

**Nota 2** – Inclui-se na área de operações a gestão dos contratos.

**Figura 3-1 Organograma da Mana Engenharia**

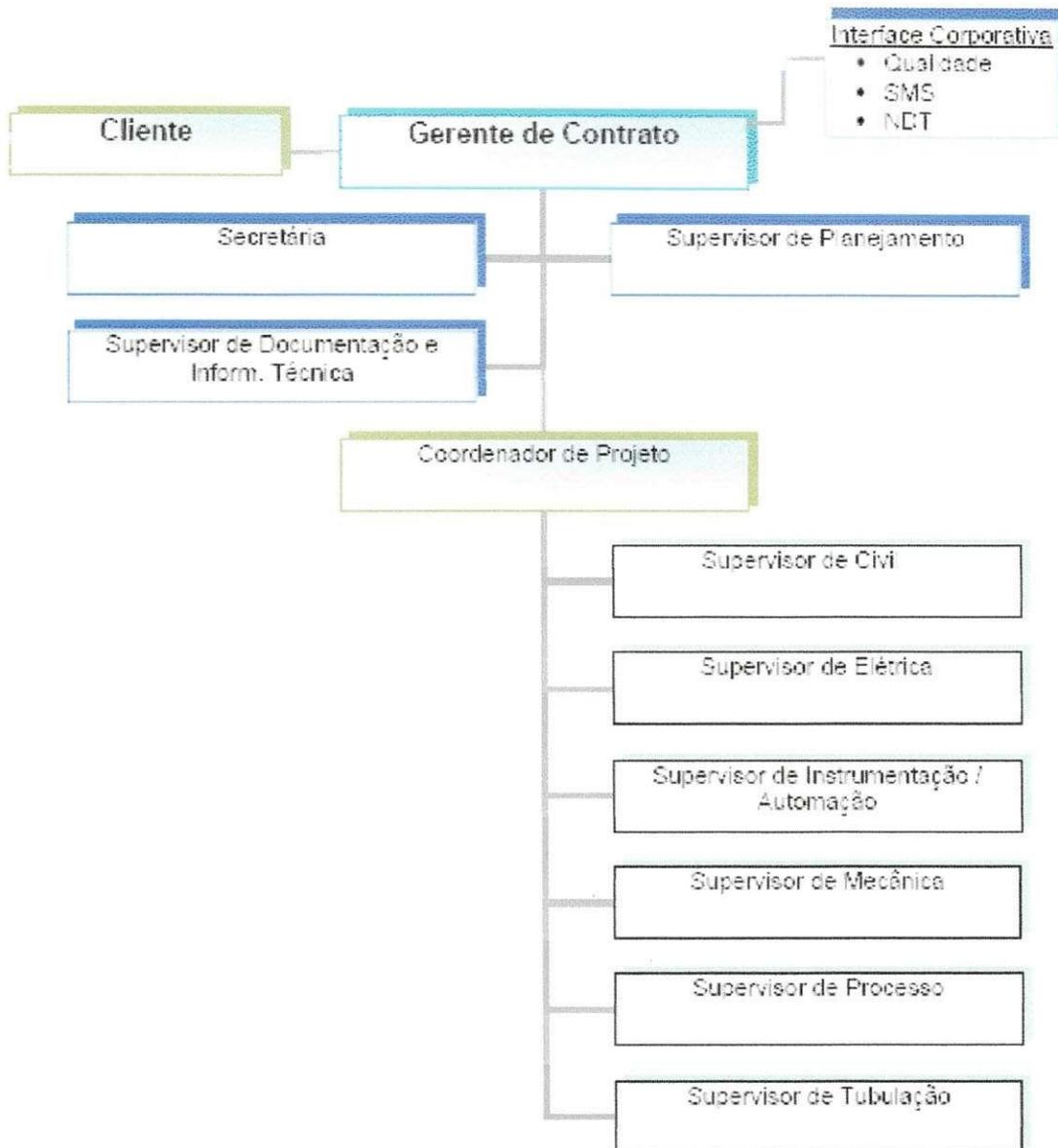


Figura 3-2 – Organograma Típico de contrato

### 3.2 PETROBRAS

A PETROBRAS é a maior estatal do Brasil e a sétima maior empresa de petróleo do mundo. Sua produção é de 2,389 milhões de barris de óleo e gás equivalente por dia, o sistema PETROBRAS inclui subsidiárias, empresas independentes com diretorias próprias, interligadas a sede. São elas:

- Petrobras Distribuidora S/A – BR, atua na distribuição de derivados de petróleo;
- Petrobras Energía Participaciones S.A;
- Petrobras Química S/A - PETROQUISA, que atua na indústria petroquímica;
- Petrobras Gás S/A - GASPETRO, subsidiária responsável pela comercialização do gás natural nacional e importado;
- Petrobras Transporte S/A - TRANSPETRO, sua finalidade é construir e operar a rede de transportes PETROBRAS;
- Downstream Participações S.A, que facilita a permuta de ativos entre a Petrobras e a Repsol-YPF;
- Petrobras International Finance Company – PIFCo.

Possui mais de 100 plataformas de produção, dezesseis refinarias, trinta mil quilômetros em dutos e mais de seis mil postos de combustíveis. E está presente em diversos países como Angola, Argentina, Bolívia, Colômbia, Estados Unidos, Nigéria, a PETROBRAS conta ainda com o apoio de seus escritórios no exterior como em Nova Iorque (ESNOR) e no Japão (ESJAP).

A empresa atua na exploração, produção, refino, comercialização e transporte de petróleo e seus derivados no Brasil e no exterior, descritas a seguir:

- Exploração e produção: Com tecnologia própria para águas ultra-profundas, a Petrobras está produzindo petróleo a preços competitivos em campos offshore (marítimos) a profundidades cada vez maiores. Sua excelência na exploração e produção de petróleo vem atraindo interesse de companhias petrolíferas de todo o mundo, com as quais está assinando acordos de parceria para a

exploração e produção de suas reservas na enorme plataforma submarina brasileira.

- **Gás e energia:** Utilizado como matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes, o gás natural fornece calor, gera eletricidade e força motriz. Na área de transporte tem a capacidade de substituir o óleo diesel, gasolina e álcool, participando assim, direta e indiretamente da vida de toda a população. O gás natural deverá multiplicar a sua presença na matriz energética brasileira colaborando na diversificação da matriz energética brasileira. Além disso, a área de gás e energia da Petrobras atua no desenvolvimento de fontes alternativas de energia e investe em conservação de energia e energia renovável, como forma de agregar valor aos seus negócios.
- **Refino:** O refino vem acompanhando de perto as transformações que a Petrobras vivencia nos últimos anos, adequando-se ao novo modelo de mercado do setor no Brasil. A Petrobras tem batido sucessivos recordes em suas refinarias, desenvolvendo tecnologia própria e possibilitando que o petróleo nacional, de caráter mais pesado, possa render uma percentagem maior de produtos nobres e aumentar a rentabilidade do negócio.
- **Transporte e armazenamento:** Responsável pelas atividades de transporte e armazenamento, a Transpetro tem como missão atuar de forma rentável na indústria de petróleo e gás.
- **Distribuição:** Com trajetória marcada por iniciativas pioneiras e resultados expressivos, a Petrobras Distribuidora mantém a liderança no mercado brasileiro de distribuição de derivados de petróleo, tendo mais de dez mil

grandes empresas como clientes entre indústrias, termoelétricas, companhias de aviação e frota de veículos leves e pesados.

## **4 SOFTWARES UTILIZADOS**

Além de utilizar os *softwares* mais comuns como: Microsoft Word e Excel, o uso e o aprendizado do AutoCAD, descrito abaixo, foi muito importante para elaborar e corrigir documentos.

### **4.1 AutoCAD**

O *AutoCAD* é um dos *Softwares* mais importantes na área de projetos, visto que é através dele que a maioria das plantas, diagramas e vários outros tipos de documentos são confeccionados. Apesar de na MANA o engenheiro não ter necessidade de desenhar, pois esse trabalho é executado pelo desenhista, foi importante o uso e o domínio deste *software*, que é ferramenta fundamental de projetos em todas as áreas de engenharia.

## **5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo é abordada toda a teoria necessária para realizar as atividades durante o estágio. Os assuntos são separados por disciplinas, facilitando assim a comparação e a relação entre elas e as atividades realizadas.

### **5.1 Sistemas Elétricos**

Através dessa disciplina, os conceitos de circuitos trifásicos equilibrados e desequilibrados, a representação dos sistemas elétricos, o cálculo de curto-circuito e o estudo

fluxo de carga são introduzidos. Os conceitos mais utilizados no decorrer do estágio foram: representação de sistemas trifásicos através de diagramas unifilares e trifilares e cálculo de faltas simétricas e assimétricas.

### **5.1.1 Diagramas Unifilares**

O objetivo de um diagrama unifilar é fornecer de maneira concisa os dados mais significativos e importantes de um sistema de potência. A importância das distintas características de um sistema varia conforme o problema e a quantidade de informação contida no diagrama. Por exemplo, a localização dos disjuntores e dos relés não é importante quando se faz um estudo de carga instalada. Por outro lado, a determinação da estabilidade de um sistema sob condições transitórias resultantes de uma falta, depende da velocidade com que operam os relés e disjuntores, a fim de isolar a parte atingida do resto do sistema. Portanto, informações sobre tais dispositivos são, neste caso, de grande importância. Às vezes, os diagramas unifilares contêm informações sobre os transformadores de corrente e de potencial ligados aos relés do sistema ou destinados às medições. Assim, a informação contida num diagrama unifilar varia de acordo com o problema e os métodos de trabalho da adotados.

### **5.1.2 Faltas Simétricas**

Quando ocorre um falta num circuito de potência, a corrente que circula é determinada pelas forças eletromotrizes internas das máquinas do circuito, por suas impedâncias e pelas impedâncias do circuito situadas entre as máquinas e a falta. Uma falta pode gerar três tipos de corrente. A que circula numa máquina síncrona imediatamente após a ocorrência de uma falta, a que circula após alguns poucos ciclos e a que persiste, ou de regime

permanente. Elas diferem entre si por causa do efeito da corrente de armadura no fluxo que gera a tensão na máquina. A corrente varia de maneira relativamente lenta desde seu valor inicial até o valor em regime permanente.

Em um sistema industrial, o nível de curto nas barras dos Painéis de Distribuição e nos Centro de Controle de Motores (CCM) depende da contribuição na entrada do sistema fornecido pela concessionária.

As correntes de falta em um sistema trifásico podem ser equilibradas ou desequilibradas. Falta desequilibradas envolvem uma ou duas fases. A corrente de falta trifásica simétrica eficaz (falta equilibrada) é freqüentemente considerada a máxima corrente de falta na barra. Para que os cálculos sejam efetuados a Primeira Lei de Ohm deve ser definida:

$$[E] = [Z] [I], \quad (5.1)$$

sendo:

$E$  - Matriz tensão da barra

$Z$  - Matriz impedância da barra; conhecida como a matriz  $Z_{bus}$

$I$  - Matriz da corrente nodal da barra.

A impedância  $Z$  em notação complexa:

$$Z = R + jX \quad (5.2)$$

sendo:

$R$  - Resistência

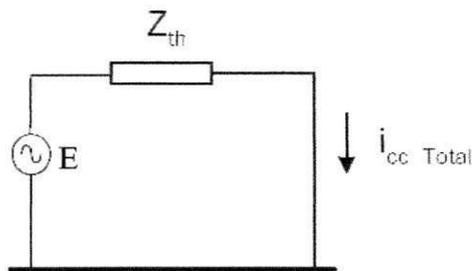
$jX$  - Reatância

O Estudo de Curto-Circuito formula as equações dos nós aplicando a Lei de Kirchoff das Correntes. Para a determinação da corrente de falta utiliza-se a impedância equivalente (reduzida) de Thevenin, para cada ponto de falta (nó). Um circuito esquemático é

mostrado na Figura 5.1.

A corrente de curto-circuito é calculada por:

$$[I_{cc}] = [E] / [Z_{THEVENIN}] \quad (5.3)$$



**Figura 5.1 – Equivalente de Thevenin**

No caso transitório, além das correntes simétricas, o programa calcula também o fator de assimetria, a partir da relação X/R. A seguir, determina-se o valor da corrente assimétrica. Os fatores de assimetria são obtidos do IEEE Std 241-1974, tabela 61, página 241, apresentados na Tabela A.4 do anexo A.

Os valores de fator de assimetria apresentados na Tabela A.4 podem ser traduzidos pela seguinte equação:

$$FA = \sqrt{1 + 2 \cdot e^{\left(\frac{-2\pi}{X/R}\right)}} \quad (5.4)$$

Para o cálculo das correntes desequilibradas lança-se mão da técnica de Fortescue, ou seja, das componentes simétricas. A técnica decompõe o sistema desequilibrado em três circuitos de seqüência: positiva, negativa e zero, onde é permissível a aplicação da Teoria Fasorial, individualmente, e posteriormente, converte-se para os valores de fase. A descrição da técnica de Fortescue está detalhada no anexo B.

## **5.2 Instalações Elétricas**

Para realização do estágio foram necessários conhecimentos em instalações e normas técnicas; projeto de instalações elétricas prediais e industriais; aterramento; sistemas de proteção de descargas atmosféricas; partida, proteção e controle de motores e medidores de energia elétrica.

Os conceitos mais empregados nas atividades foram: dimensionamento de condutores, dispositivos de proteção e comando de motores.

### **5.2.1 Dimensionamentos de Condutores**

A norma NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – da ABNT, recomenda a utilização de seis critérios para o dimensionamento de condutores, porém a MANA utiliza apenas três para instalações de baixa tensão e quatro para instalações de média tensão. Os critérios aqui mencionados serão:

- Seção Mínima;
- Capacidade de Condução de Corrente;
- Queda de Tensão Admissível;
- Curto-Circuito (apenas para média tensão).

#### **5.2.1.1 Seção Mínima**

A NBR 5410:2004 estabelece uma seção mínima para os condutores, dependendo do tipo de circuito e do material do condutor. A Tabela 5.1 mostra esses valores.

**Tabela 5.1 – Seção Mínima dos Condutores - NBR 5410:2004**

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm <sup>2</sup> - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força <sup>2)</sup>	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu <sup>3)</sup>
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu <sup>4)</sup>
		Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

<sup>1)</sup> Seções mínimas ditadas por razões mecânicas  
<sup>2)</sup> Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.  
<sup>3)</sup> Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.  
<sup>4)</sup> Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm<sup>2</sup>.

### 5.2.1.2 Capacidade de condução de corrente

Pelo critério da capacidade de condução de corrente, como o próprio nome sugere, a seção nominal do condutor é dimensionada pela corrente máxima que aquele condutor deve suportar, porém alguns fatores devem ser considerados e adicionados ao cálculo. Os fatores de correção mais utilizados são o Fator de Correção de Temperatura e Fator de Correção para Agrupamentos Circuitos ou Cabos Multipolares. As tabelas com os respectivos valores encontram-se no Anexo A.

A aplicação dos fatores acima mencionados é feita através da Equação 5.5.

$$I_{\text{dim}} = \frac{In \times F_{ec}}{F_t + F_a} \quad (5.5)$$

Sendo:

$In$  - Corrente Nominal do Circuito.

$F_{ec}$  - Fator de Elevação de Carga, utilizado em circuito de motores.

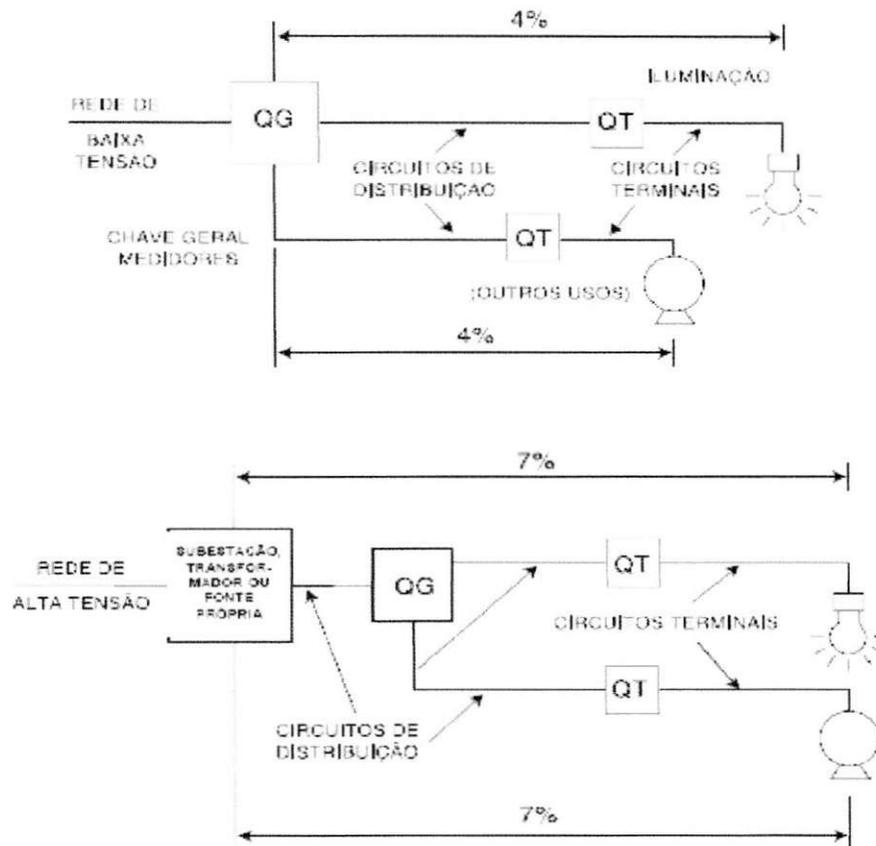
$F_t$  - Fator de Elevação de Temperatura, acima de 30°C.

$F_a$  - Fator de Agrupamento, utilizado em circuitos cujo eletroduto possui mais de um circuito.

Depois de aplicado tais fatores, a seção nominal é escolhida através da Tabela A.2, contida no anexo A, e retirada da NBR 5410/2004.

### 5.2.1.3 Queda de Tensão

Para que aparelhos, equipamentos e motores possam funcionar satisfatoriamente é necessário que a tensão sob a qual a corrente lhes é fornecida esteja dentro de limites prefixados. Ao longo do circuito, desde o quadro geral ou a subestação até o ponto de utilização em um circuito terminal, ocorre uma queda de tensão. Assim, é necessário dimensionar os condutores para que esta redução na tensão não ultrapasse os limites estabelecidos pela Norma NBR 5410/2004 da ABNT. Para redes de baixa tensão, os circuitos de distribuição que vão do Quadro Geral (QG) aos Quadros Terminais (QT) que por sua vez estão ligados ao equipamentos através dos circuitos terminais, não devem ultrapassar 4% de queda de tensão. Para os circuitos de distribuição que têm origem nas subestações ou transformadores e vão até os quadros gerais, esse limite não deve ser maior que 3%. Através da Figura 5.2, os limites para redes de Alta e Baixa Tensão podem ser visualizados.



**Figura 5.2 – Limites de Queda de Tensão - NBR 5410:2004**

Para o dimensionamento do condutor através do método da queda de tensão, deve-se adotar o procedimento descrito a seguir:

*Conhecem-se:*

- Material do eletroduto. Magnético ou não-magnético.
- Corrente de projeto,  $I_p$  (em amperes)
- O fator de potência do circuito.
- A queda de tensão admissível para o caso.
- O comprimento do circuito,  $L$  em quilômetros (km)
- A tensão entre fases  $U$  (em volts)

*Calcula-se:*

- A queda de tensão admissível, em volts.
- $\Delta U = (\%) \cdot (U)$ .
- Dividindo  $\Delta U$  por  $(I_p \cdot L)$ , tem-se a queda de tensão em  $(V/A) \times km$ .
- Verifica o valor na tabela específica e encontra-se a seção nominal do cabo.

Uma tabela típica retirada de um catálogo de fabricante pode ser vista no Anexo A.

#### 5.2.1.4 Curto-Circuito

A corrente de curto-circuito permissível em cabo isolado depende da máxima temperatura do condutor permitida pela isolação e da duração do curto-circuito, isto é, do tempo de atuação dos dispositivos de proteção. Em sistemas onde altas correntes de curto-circuito estão envolvidas, as forças entre condutores devem ser também consideradas.

Com o propósito de calcular a capacidade de curto-circuito, foi suposto que o intervalo de duração do mesmo seja pequeno (<5s), de modo que o calor gerado pelo fluxo de potência de curto-circuito fique armazenado no condutor, não havendo, portanto troca de calor com o meio ambiente. A corrente de curto-circuito permissível para uma dada seção de condutor durante certo tempo poderá ser calculada pela equação:

$$I_{cc} = \frac{K_1 \times S}{(t)^{1/2}} \left[ \log \left( \frac{K_2 + T_f}{K_2 + T_i} \right) \right]^{1/2} \quad (kA) \quad (5.6)$$

**Sendo:**

$K_1$  - 0,34 para condutores de cobre e de 0,22 para condutores de alumínio;

$K_2$  - 234,5 para condutores de cobre e de 228,1 para condutores de alumínio;

$S$  - seção do condutor (mm<sup>2</sup>);

$t$  - tempo de duração do(s) curto-circuito(s);

$T_i$  - temperatura do condutor antes do curto-circuito (°C);

$T_f$  - temperatura do condutor após o curto-circuito (°C)

Para avaliação da temperatura antes do curto-circuito, desde que esta não seja conhecida, recomenda-se a suposição de que o cabo opere a plena carga, ou seja, deve ser considerada a máxima temperatura do condutor em regime normal permissível pela isolação.

### 5.2.2 Comando e Proteção dos Circuitos

Os circuitos elétricos são dotados de dispositivos que permitem:

- a) *A interrupção da passagem da corrente por seccionamento.* São os aparelhos de comando. Compreendem os interruptores, as chaves faca, os contadores, os disjuntores, as barras de seccionamento, etc. Estes dispositivos permitem a operação e a manutenção dos circuitos por eles manobrados.
- b) *A interrupção contra curto-circuitos ou sobrecargas.* Em certos casos, o mesmo dispositivo permite alcançar os objetivos acima citados, como os disjuntores por exemplo.

Alguns desses dispositivos são mostrados a seguir.

#### 5.2.2.1 Chaves Seccionadoras

As chaves seccionadoras podem ser simples interruptores de carga comandadas direta e manualmente, suportando as correntes de carga para qual foram projetados.

Existem também, chaves que podem ser comandadas a distância. São as *chaves magnéticas*. Podemos definir uma chave magnética simples como sendo uma chave de duas posições, acionada por eletroímã, compreendendo um circuito magnético formado por um núcleo (parte fixa) e uma armadura (parte móvel). Possui uma bobina no núcleo que, alimentada por um circuito externo, se energiza, provocando o movimento da armadura no sentido de fechamento do circuito.

### 5.2.2.2 Contatores

São dispositivos eletromecânicos que permitem o comando de um circuito a distância. São chaves de operação não-manual, que têm uma única posição de repouso e são capazes de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas de funcionamento previstas. Podem ter contatos auxiliares para comando, sinalização e outras funções.

Seu principal uso é na ligação e desligamento de cargas não-indutivas, como fornos de resistência, aquecedores de água entre outros e na partida e parada de motores. Na Figura 5.3 está um contator tripolar.



*Figura 5.3 - Contator Tripolar de Baixa Tensão, com 4 contatos auxiliares, da Siemens*

### 5.2.2.3 Fusíveis

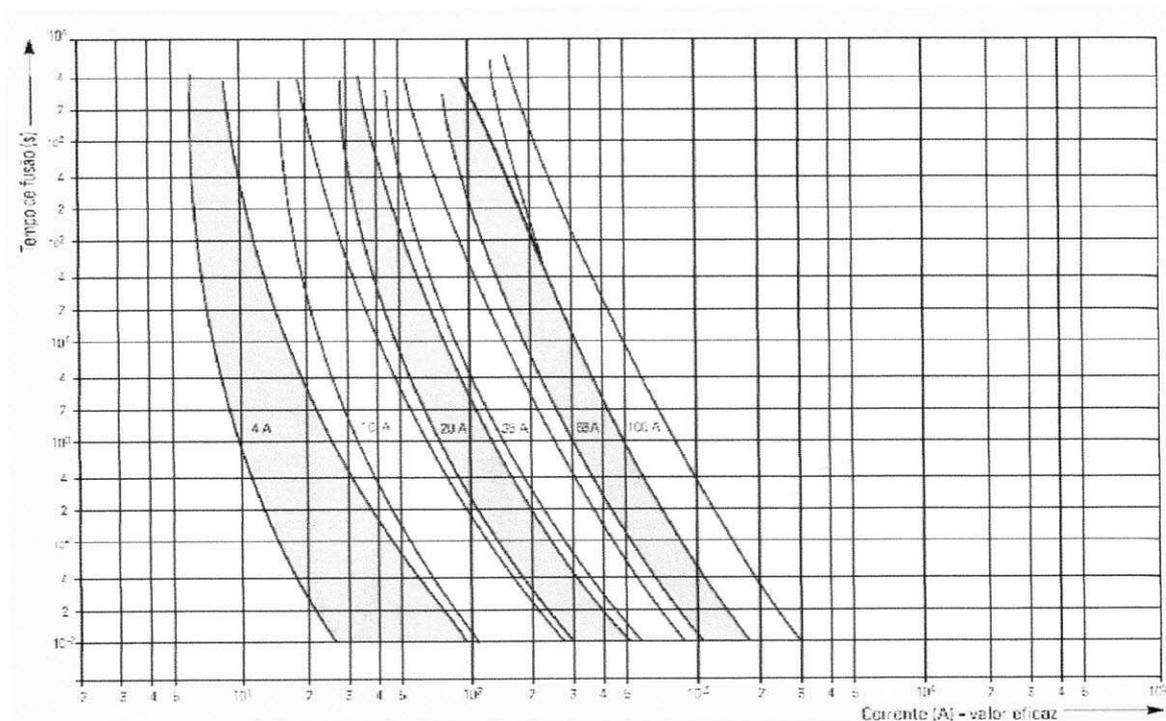
O fusível é um dispositivo de proteção simples e econômico e, por isso, amplamente utilizado. Nada mais é que um pequeno trecho condutor de um material de baixo ponto de fusão. O aquecimento provocado por uma corrente elevada funde o elemento, abrindo o circuito.

A principal característica de um fusível é a sua corrente nominal, isto é, o valor máximo de corrente que o mesmo suporta em regime contínuo sem abrir. Correntes maiores que a nominal irão provocar a ruptura do fusível após algum tempo e esta relação, tempo x

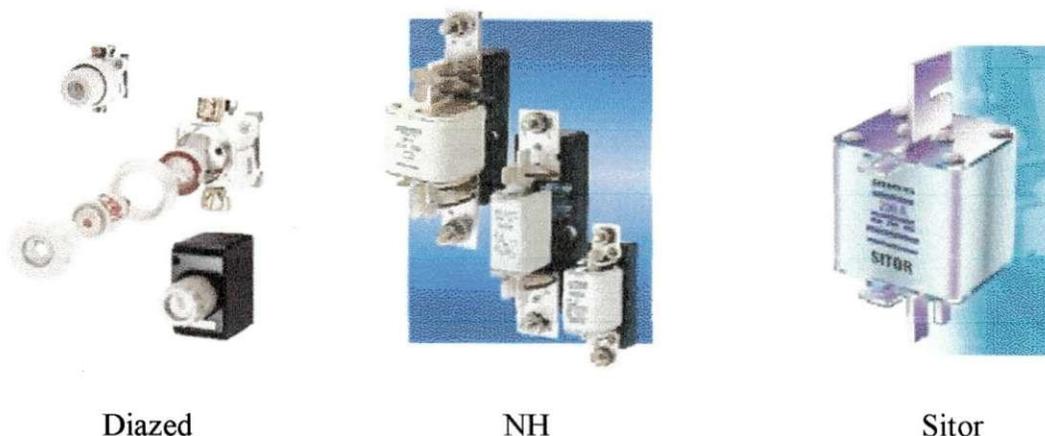
corrente de ruptura é a curva característica do fusível (Figura 5.9). Os fusíveis também têm uma tensão máxima de operação que deve ser obedecida. Alguns tipos, chamados de retardados, apresentam um tempo relativamente longo para abrir. Outros, chamados rápidos, abrem em um tempo bem menor, na mesma corrente. Esta diversidade é necessária, uma vez que cargas comuns como motores têm um pico de corrente na partida que deve ser suportado e, portanto, o tipo retardado deve ser usado. Equipamentos sensíveis como os eletrônicos que em geral, funcionam com frequências bem acima da doméstica, precisam de uma ação rápida para uma proteção correta.

Existem vários tipos de fusíveis, os principais são: diazed, NH, neozed, sitor entre outros. Na Figura 5.5 podem ser visualizados alguns destes.

Na Figura 5.4, existem seis curvas, uma para cada fusível de diferente corrente nominal: 4A, 10A, 20A, 35A e 100A. Elas são colocadas dessa forma nos catálogos dos fabricantes para que uma comparação entre as curvas possa ser feita no momento da escolha do fusível mais adequado para determinado circuito.



**Figura 5.4 – Curva característica (tempo versus corrente) de um fusível Sitor, da Siemens**



*Figura 5.5 – Tipos de Fusíveis*

#### 5.2.2.4 Disjuntores

Denominam-se disjuntores os dispositivos de manobra e proteção, capazes de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-circuito.

Os disjuntores possuem um dispositivo de interrupção da corrente constituído por lâminas de metais de coeficientes de dilatação térmica diferentes (latão e aço), soldados. A dilatação desigual das lâminas, por efeito do aquecimento, provocado por uma corrente de sobrecarga faz interromper a passagem da corrente no circuito. Esses dispositivos bimetálicos são *relés térmicos* e, em certos tipos de disjuntores, são ajustáveis. Além dos relés bimetálicos, os disjuntores são providos de relés magnéticos (bobinas de abertura), que atuam mecanicamente, desligando o disjuntor quando a corrente é de curta duração (relés de máxima). Desarmam, também, quando ocorre um curto-circuito em uma ou nas três fases. Os tipos possuem “bobina de mínima” desarmam quando falta tensão em uma das fases.

O disjuntor usado na proteção de circuitos de baixa tensão é do tipo em caixa

moldada (caixa suporte de material isolante). Eles são usados em proteção de circuitos de iluminação de tomadas e na proteção de pequenos motores. Na Figura 5.6 pode ser visto um disjuntor de caixa moldada.

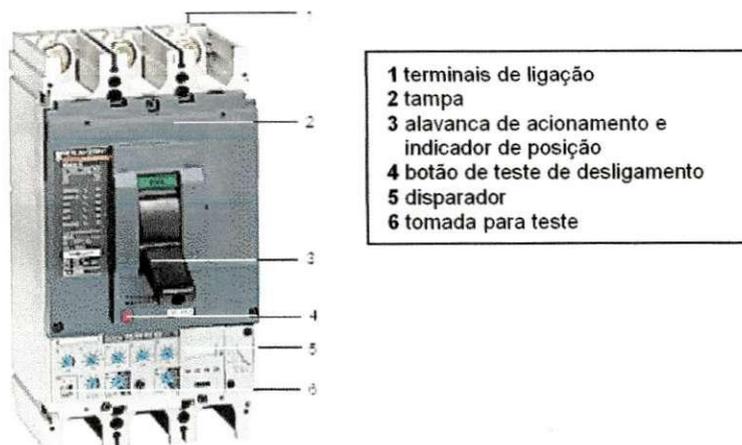
Na Figura 5.7 está um disjuntor termomagnético com ajuste de corrente. Na Figura 5.8 está a vista frontal do disparador termomagnético ajustável.

As características nominais de um disjuntor são:

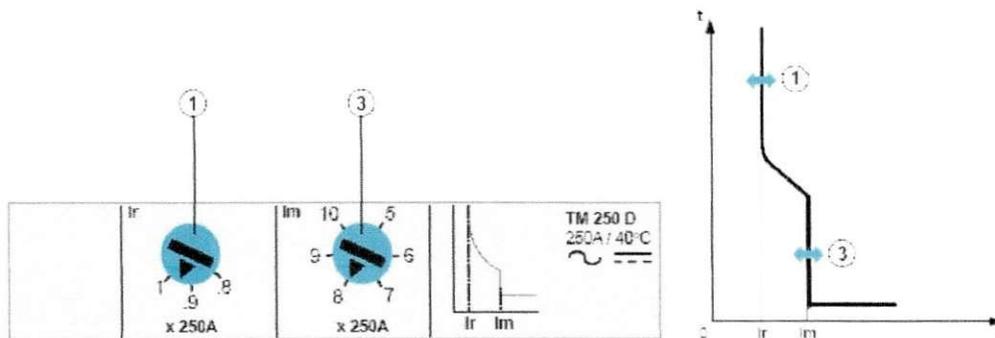
- tensão nominal em Vca;
- nível de isolamento;
- curvas características (tempo *versus* corrente) do disparador térmico e/ou magnético;
- corrente nominal;
- frequência nominal;
- capacidade de estabelecimento em curto-circuito (kA crista);
- capacidade de interrupção em curto-circuito simétrico (kA eficaz);
- ciclo de operação.



**Figura 5.6 – Mini-disjuntor binolar de caixa moldada. da ABB.**



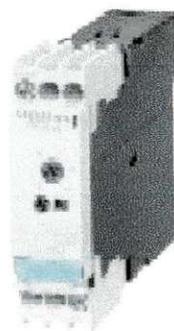
**Figura 5.7 – Disjuntor Termomagnético Compact NS, da Merlin Gerin**



**Figura 5.8 – Disparador termomagnético ajustável.  $I_r$  é o ajuste da corrente de sobrecarga, enquanto  $I_m$  é o ajuste da corrente de curto-circuito.**

### 5.2.2.5 Relés de Tempo

São dispositivos para utilização em manobras que exigem temporização, em esquemas de comando, para partida, proteção e regulação. Eles têm excitação permanente e acionamento em corrente alternada. Os relés de tempo do tipo eletrônico também podem ter aplicações em corrente contínua.



**Figura 5.9 – Relé de tempo Eletrônico Simirel 3RP15, da Siemens**

### 5.3 Técnicas de Medição

Nessa disciplina os assuntos mais relevantes para o desenvolvimento do estágio foram os transformadores de corrente e de potencial. Uma breve explanação é feita a respeito desses dois importantes equipamentos.

#### 5.3.1 Transformadores de Corrente

De acordo com a norma ABNT NBR 6546, Transformador de Corrente (TC) é o “transformador para instrumentos cujo enrolamento primário é ligado em série em um circuito elétrico e reproduz, no seu circuito secundário, uma corrente proporcional à do seu circuito primário, com sua posição fasorial substancialmente mantida”.

O Transformador de Corrente (TC) tem portanto, a finalidade de:

- fornecer no seu secundário, uma corrente proporcional à do primário e de dimensões adequadas para serem usadas pelos sistemas de controle, medição e proteção.
- isolar os equipamentos de controle, medição e proteção do circuito de Alta Tensão (AT).

No Brasil, a corrente secundária do TC está normalizada em 5 A, podendo no entanto, ser encontrada aplicação com TC's cuja corrente secundária é de 1 A.

Na Figura 5.10 está a representação esquemática um TC.

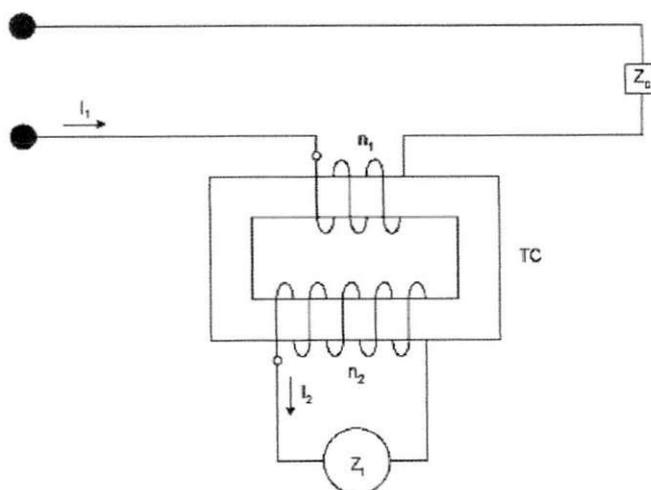


Figura 5.10 - Representação Esquemática de um TC

Sendo:

- $n_1$  e  $n_2$  = número de espiras dos enrolamentos primários e secundários, respectivamente
- $I_1$  e  $I_2$  = corrente eficaz primária e secundária, respectivamente
- $Z_c$  = impedância de carga
- $Z_i$  = impedância de carga do secundário do TC (impedância de todos os dispositivos ligados em série)

De acordo com a ABNT os valores nominais que caracterizam um transformador de corrente são: corrente nominal e relação nominal, nível de isolamento, frequência nominal, carga nominal, classe de exatidão, fator de sobrecorrente nominal (somente para TC's de proteção), fator térmico nominal, corrente térmica nominal e corrente dinâmica nominal. Estas características estão detalhadas no apêndice C.

### 5.3.2 Transformador de Potencial

Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente, sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a de rede á qual estão ligados.

Na sua forma mais simples, os transformadores de potencial possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115V ou  $115\sqrt{3}$ . Dessa forma, os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolação.



*Figura 5.11 - Transformador de potencial a óleo*

Os valores nominais que caracterizam um transformador de potencial são:

- tensão primária nominal e relação nominal;
- nível de isolamento;
- frequência nominal;
- carga nominal;
- classe de exatidão;
- potência térmica nominal.

A descrição detalhada das características descritas acima se encontra no anexo D.

## **5.4 Proteção de Sistemas Elétricos**

Nessa disciplina o aluno passa a conhecer a filosofia de proteção dos sistemas elétricos, os equipamentos utilizados como relés de proteção, disjuntores, transformadores de corrente e de potencial. O conceito de coordenação entre os dispositivos de proteção é introduzido.

Neste relatório, é dada ênfase aos relés de proteção, bem como a coordenação dos dispositivos de proteção, assunto bastante importante no decorrer do estágio.

### 5.4.1 Relés de Proteção

Relés de proteção são os principais dispositivos de proteção de um sistema elétrico. Eles não são como os interruptores de carga ou disjuntores que funcionam como chaves de abertura e fechamento de circuitos. Eles “sentem” a corrente de curto-circuito, a sobretensão, a alta temperatura e outras anomalias que podem danificar os equipamentos ligados ao sistema. Depois de detectado o defeito, o relé de proteção envia a informação para o dispositivo de interrupção ligado a ele, podendo ser um contator, disjuntor ou um interruptor de energia.

A *American National Standards Institute – ANSI* padronizou a numeração dos dispositivos de proteção para representação em diagramas elétricos. Na Tabela A.5 contida no Anexo A, estão todos esses dispositivos.

Existem vários tipos de relés de proteção, que desempenham inúmeras funções. Na Tabela 5.2 os relés mais comuns e suas funções de acordo com a numeração ANSI, podem ser vistos.

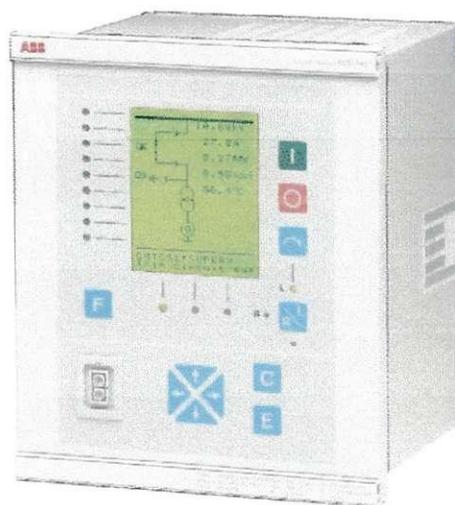
**Tabela 5.2 – Relés de Proteção**

Nº ANSI	Descrição	Função
27	Relé de Subtensão	Opera para tensão abaixo de um valor predeterminado.
37	Relé de sub-corrente ou sub-potência	Opera em valores de corrente (ou de potência) abaixo de um valor prefixado.
48	Relé de seqüência incompleta	Retorna o equipamento à posição normal ou desligado e o bloqueia nessa posição, se a seqüência normal de partida, operação ou parada não é completada dentro de um tempo predeterminado.
49	Relé térmico de máquina ou transformador	Opera quando a temperatura da máquina, transformador de potência ou retificador de potência, excede um valor predeterminado.
50	Relé de sobrecorrente instantâneo	Opera instantaneamente em corrente acima de um valor predeterminado.
51	Relé de sobrecorrente temporizado em circuito de corrente alternada.	Opera com uma característica de tempo definida ou tempo inverso, quando a corrente ultrapassa o valor prefixado, em circuito de corrente alternada

59	Relé de sobretensão	Opera para uma tensão acima de um valor prefixado.
68	Relé de bloqueio	Dispositivo que, sob condições determinadas, fornece o sinal piloto para bloqueio da abertura de equipamentos de uma linha de transmissão, no caso de faltas externas na linha ou em outros equipamentos; ou ainda, trabalha em conjunção com outros dispositivos para bloqueio da abertura ou religamento de algum equipamento, no caso de ausência de sincronismo ou oscilação de potência.

No passado, cada equipamento citado na Tabela 5.2 era uma peça individual, com características próprias. Havia uma grande dificuldade em ajustar esses relés nas configurações desejadas e a margem de erro era grande.

Atualmente os relés multifuncionais exercem todas essas funções em um único aparelho eletrônico. Têm a vantagem de serem mais precisos e sua parametrização é feita através de um computador ou mesmo pela tela do próprio aparelho. Na Figura 5.12 pode ser visualizado um rele multifunção para proteção de motores da ABB.



**Figura 5.12 – Relé multifunção REM 543, da ABB**

## **6 ATIVIDADES REALIZADAS**

As principais atividades realizadas no estágio foram desenvolvidas no contrato CTE01. Neste contrato estão previstas especificações dos equipamentos do sistema elétrico, execução do projeto elaborando documentos para fornecimento de materiais, montagem industrial, testes e pré-operação, referentes às novas instalações do sistema de injeção de CO<sub>2</sub> do campo de Miranga, Bahia/BA, Brasil.

O projeto prevê a instalação de um transformador a seco na linha de 13,8kV para alimentar o sistema de 480V. As principais cargas que serão alimentadas em 480V são: Bomba de CO<sub>2</sub>, Soprador, Permutador de Calor, Bomba do Sistema de BVV, Válvulas do Sistema de Injeção de CO<sub>2</sub>, Transformador de iluminação e Tomadas de Solda.

Nos tópicos a seguir serão descritas as principais atividades realizadas no contrato CTE01.

### **6.1 Atividades Iniciais e Leitura de Normas e Procedimentos**

Inicialmente realizou-se a apresentação dos novos colaboradores (estagiários) a toda a comunidade da empresa. Isso serviu para aproximar os estagiários dos supervisores das especialidades de engenharia, os coordenadores de projeto e gerentes de contrato.

No período em que o estagiário foi contratado, muitos outros colaboradores também estavam sendo incorporados aos quadros da empresa. Por isso, mensalmente, havia a atividade de Integração. Durante um dia inteiro esses novos colaboradores assistiam às palestras apresentadas pelos gestores de cada área, conhecendo assim a filosofia da empresa e principalmente a política de qualidade.

Outra atividade importante realizada na primeira semana de trabalho foi a leitura das normas e procedimentos das empresas, MANA e PETROBRAS. Através deles, todo o processo de confecção, verificação, aprovação e emissão de documentos passaram a ser conhecidos. Detalhes que parecem simples tais como a escolha da cor da caneta a ser usada, mas que são importantes para manter a organização e a qualidade nos serviços prestados pela empresa.

## **6.2 Confecção de Memória de Cálculo de Alimentadores**

Os circuitos que contemplam o projeto são divididos em circuitos de força, de controle e de iluminação. Circuitos de força são aqueles que alimentam os motores, os painéis de distribuição, os Centro de Controle de Motores (CCM's) e outros tipos de equipamentos. Os circuitos de controle são aqueles que enviam informações de comando para abertura de disjuntores e contadores, sinais de *status* de equipamentos para os Controladores Lógicos Programáveis (CLP's) e para o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD's) e todo tipo de circuito que transmite pequenos sinais. Os circuitos de iluminação são responsáveis por alimentar todo e qualquer tipo de lâmpada existente no projeto.

Obrigatoriamente os condutores dos circuitos de força e iluminação devem ser dimensionados de acordo com a norma NBR 5410/2004 da ABNT através dos métodos da seção mínima, capacidade de condução de corrente, queda de tensão e curto-circuito, este para circuitos de média tensão. Os circuitos de controle são de responsabilidade da especialidade de Instrumentação, por isso o setor de Elétrica não faz memória de cálculos para esse tipo de circuito.

A memória de cálculo era elaborada pelo estagiário e o engenheiro responsável pelo projeto verificava os cálculos do documento.

### 6.3 Confecção da Memória de Cálculo de Transformadores de Potência

Durante a fase de projeto é necessário especificar as potências dos transformadores que alimentarão os Centros de Distribuição de Cargas, Centros de Controle de Motores e painéis de iluminação. Para tanto deve ser feita uma memória de cálculo para saber qual a potência necessária do transformador que irá suprir essas cargas.

Existem alguns critérios que devem ser considerados para o dimensionamento dos transformadores. É preciso conhecer o fator de demanda da instalação, no caso de haver motor é necessário calcular sua potência consumida, e a demanda total considerada na instalação. Os critérios citados estão representados pelas equações seguintes:

- Fator de Demanda:

$$\frac{\sum kVA_{MÁXIMO}}{\sum kVA_{INSTALADO}} \quad (6.1)$$

- Potência Consumida (kVA)

$$\frac{kW_{UTILIZADO}}{\eta \times f_p} \quad (6.2)$$

Onde,

$\eta$  - rendimento do motor

$f_p$  - fator de potência do motor

$kW_{UTILIZADO}$  - Potência de eixo utilizada

- Demanda Total Considerada

$$\sum kVA_{INSTALADO} \times \text{fator\_demanda} \quad (6.3)$$

Após o cálculo da demanda total do transformador é prática comum nos projetos da PETROBRAS acrescentar 25% de reserva na potência do transformador para considerar cargas a serem instaladas no futuro.

#### 6.4 Confeção de Memória de Cálculo de Iluminação

Em projeto onde existem Centro de Controle de Motores e Centro de Distribuição de Cargas são necessárias construção de casas para o abrigo dos painéis. Na memória de cálculo de iluminação definimos o número de lâmpadas e luminárias necessárias para a iluminação da sala de painéis de acordo com as normas ABNT e PETROBRAS.

No critério de dimensionamento usamos o método dos lumens e seguimos os seguintes passos para determinar o número de luminárias do ambiente estudado.

- Escolha do nível de iluminação (E):

O nível mínimo de iluminação depende da atividade visual a ser exercida no local. Para a sala de painéis consideramos  $E = 300$  lux (conforme norma PETROBRAS N-2429).

- Fator do local (K):

Depende das dimensões do recinto, emprega-se a seguinte fórmula:

$$K = \frac{C \times L}{(C + L) \times h} \quad (6.4)$$

Onde,

C – comprimento do local (m);

L – largura do local (m);

$h$  – altura da luminária até o plano de trabalho (m).

- Fator de utilização ( $F_u$ ):

Para determinar o valor do fator de utilização recorreremos às tabelas dos fabricantes.

Consideramos os valores de  $K$  e os índices de refletância do ambiente a ser iluminado.

Onde,

$R_T$  – reflexão do teto;

$R_{Pa}$  – reflexão da parede;

$R_{Pi}$  – reflexão do piso;

- Fator de depreciação ( $F_d$ ):

É a relação do fluxo luminoso emitido por uma luminária no início do processo de manutenção e o fluxo emitido no início de sua operação.

- Definição do número de luminárias ( $N$ ):

Para quantificar o número de luminárias do ambiente, empregamos a seguinte fórmula:

$$N = \frac{L \times C \times E}{\Phi_{Lumin} \times f_u \times f_d} \quad (6.5)$$

Onde,

$\Phi_{Lumin}$  – Fluxo total das lâmpadas utilizadas pela luminária

## 6.5 Confeção de Memória de Cálculo de Partida de Motores

Os motores elétricos, durante a partida, solicitam da rede de alimentação uma corrente de valor elevado, da ordem de 6 a 10 vezes a sua corrente nominal. Nestas condições o circuito que inicialmente fora projetado para transportar a potência requerida pelo motor, é solicitado agora pela corrente de acionamento durante um certo período de tempo. Em consequência, o sistema fica submetido a uma queda de tensão normalmente muito superior aos limites estabelecidos ao funcionamento em regime, podendo provocar sérios distúrbios operacionais nos equipamentos de comando e proteção, além de afetar o desempenho da iluminação, notadamente a incandescente.

Em virtude dos motivos expostos, durante a elaboração de um projeto de instalação elétrica industrial devem ser analisados, dentre os motores de potência elevada, aqueles que podem degradar a operação em regime normal do sistema, a fim de aplicar a solução adequada do método de partida.

Consideramos para os cálculos as impedâncias dos cabos, transformadores, motores e que o sistema está operando a plena carga. Os critérios de dimensionamentos estão descritos a seguir:

- Determinação das correntes das cargas do sistema elétrico – Calcula-se as correntes nominais das cargas que compõem a instalação, exceto a corrente do motor em estudo.
- Cálculo da corrente que flui para cada painel do sistema – Conhecendo a corrente das cargas do sistema é possível obter a corrente de cada painel.
- Cálculo da corrente de partida do motor em estudo – Para o cálculo consideramos um fator de potência de 0,25.

- Cálculo da queda de tensão em cada ponto do sistema – Com os valores das correntes e impedâncias do sistema é possível calcular a queda de tensão em cada ponto da instalação.

Segundo a NBR 5410/04 recomenda, a queda de tensão durante a partida de um motor não deve ultrapassar 10% de sua tensão nominal no ponto da instalação do dispositivo de partida correspondente. Pode-se adotar uma queda de tensão superior a 10% em casos específicos, quando são acionadas cargas de alto conjugado resistente, desde que a tensão mínima das bobinas da chave de partida seja inferior à tensão resultante durante a partida do motor.

## **6.6 Confeção de Memória de Cálculo de Curto-Circuito Trifásico**

A determinação das correntes de curto-circuito nas instalações elétricas de baixa e alta tensão de sistemas industriais é fundamental para elaboração do projeto de proteção e coordenação dos diversos elementos.

Os valores dessas correntes são baseados no conhecimento das impedâncias, desde o ponto de defeito até a fonte geradora.

As correntes de curto-circuito adquirem valores de grande intensidade, porém com duração geralmente limitada a frações de segundo. São provocadas mais comumente pela perda de isolamento de algum elemento energizado do sistema elétrico. Os danos provocados na instalação ficam condicionados à intervenção correta dos elementos de proteção. Os valores de pico estão, normalmente, compreendidos entre 10 e 100 vezes a corrente nominal no ponto de defeito da instalação e dependem da localização deste.

Além das avarias provocadas com a queima de alguns componentes da instalação, as correntes de curto-circuito geram solicitações de natureza mecânica, atuando, principalmente, sobre os barramentos, chaves e condutores, ocasionando o rompimento dos apoios e

deformações na estrutura dos quadros de distribuição, caso o dimensionamento destes seja adequado aos esforços eletromecânicos resultantes.

É considerada fonte de corrente de curto-circuito todo componente elétrico ligado ao sistema que passa a contribuir com a intensidade da corrente de defeito, como é o caso dos geradores, condensadores síncronos e motores de indução.

Na maioria dos sistemas industriais, a máxima corrente de curto-circuito é obtida quando ocorre uma falta nas três fases que dá origem a um curto trifásico, com valor superior as dos curtos entre duas fase e fase-terra. Para este caso, foi desenvolvido o cálculo de curto-circuito trifásico em cada barramento dos painéis a serem instalados.

Consideramos para os cálculos a impedância do sistema fornecida pela PETROBRAS, e calculamos as impedâncias dos cabos, transformadores e motores, conforme descrito abaixo:

- Impedância dos cabos de alimentação

$$R_{c1} = \frac{R_{ux}LxP_b}{1000 \times N \times 1000 \times (E_b)^2} \quad (6.6)$$

$$X_{c1} = \frac{X_{ux}LxP_b}{1000 \times N \times 1000 \times (E_b)^2} \quad (6.7)$$

Onde,

$R_u$  = Resistência do cabo por quilômetro;

$X_u$  = Reatância do cabo por quilômetro;

$L$  – comprimento do circuito (20 m);

$N$  – número de cabos por fase (1);

$P_b$  – Potência de base;

$E_b$  – Tensão de base.

- Impedâncias dos transformadores

$$Z_t = R_t + jX_t \quad (6.8)$$

$$X_t^2 = Z_t^2 - R_t^2 \quad (6.9)$$

$$R_{TR1} = \frac{P_{cu} \times P_b}{10 \times P_n \times P_n} \times (E_n / E_b)^2 \quad (6.9)$$

$$Z_{TR1} = \frac{Z_{pT} \times P_b}{P_n} \times (E_n / E_b)^2 \quad (6.10)$$

Onde:

$P_{cu}$  – Perdas no cobre do transformador;

$P_b$  – Potência de Base;

$P_n$  – Potência Nominal;

$E_n$  – Tensão nominal;

$E_b$  – Tensão de Base;

$Z_{pT}$  – É a impedância do transformador em pu nas bases de  $P_n$  e  $E_n$ ;

$Z_{TR1}$  – É a impedância do transformador em pu nas bases de  $P_b$  e  $E_b$ .

- Impedância dos motores de indução

As impedâncias dos motores foram determinadas conforme discriminado abaixo:

$$Z_m = R_m + jX_m \quad (6.11)$$

Para o calculo do curto-circuito vamos desprezar o valor da resistência e calcular a reatância aplicando as seguintes equações:

$$P_n = \frac{P_{cv} \times 0,736}{F.P. \times n} \quad (6.12)$$

$$X_{pu} = \frac{X_{pm} \times P_b}{P_n} \times \left( \frac{E_n}{E_b} \right)^2 \quad (6.13)$$

Onde,

$P_n$  – É a potência nominal do motor em kW;

$P_{cv}$  – É a potência nominal do motor em CV;

F.P. – É o fator de potência do motor;

$E_n$  – É a tensão nominal do motor;

$n$  – É o rendimento do motor;

$X_{pm}$  – É a reatância do motor em pu nas bases de  $P_n$  e  $E_n$ ;

$X_{pu}$  – É a reatância do motor em pu nas bases de  $P_b$  e  $E_b$ .

Com os valores das impedâncias, calculamos para cada ponto de entrada dos painéis a impedância equivalente do sistema e assim determinamos a corrente de curto-circuito nos barramentos dos painéis.

## 6.7 Análise Técnica de Propostas de Fornecedores

Alguns equipamentos como motores, painéis de distribuição, transformadores de potência, inversores de frequência e outros equipamentos de maior porte, antes de serem comprados devem ser cotados, ou seja, devem passar por uma licitação. Esses equipamentos são de grande importância no projeto por terem preço elevado. A licitação é necessária, já que os preços, prazos de entrega, normas aplicáveis ao projeto e outras características, variam muito entre os fornecedores.

Depois de enviada para o cliente, as Especificações Técnicas são passadas para os fornecedores do produto a ser comprado. Através desta especificação eles enviam a proposta à MANA para ser feita a análise técnica. Os preços são retirados pelo pessoal de Suprimentos, fazendo com que o engenheiro analise apenas tecnicamente a proposta, verificando se os dados dos equipamentos estão de acordo com a especificação, se os documentos obrigatórios acompanham a proposta, comparando os prazos de entrega e verificando se o equipamento está de acordo com as normas.

Normalmente o fabricante não cumpre todos os requisitos que estão na Especificação Técnica. Quando isso acontece, uma Agenda de Esclarecimentos contendo as pendências da proposta é feita e enviada ao fornecedor para que as devidas providências sejam tomadas. Um prazo de dois dias é dado para que a proposta seja revisada e o não cumprimento, deste pode causar desclassificação.

Essa foi uma atividade que exigiu do estagiário, conhecimentos técnicos para análise dos equipamentos propostos. Além disso, no decorrer do processo, foram feitos contatos com os fornecedores para esclarecimentos de dúvidas e negociações com relação a prazos e algumas não-conformidades das propostas, possibilitando ao estagiário ter uma relação interpessoal com os fabricantes.

## **6.8 Análise de Documentos de Fornecedores**

O fornecedor que ganha a licitação, deve enviar os documentos do equipamento a ser comprado para a MANA analisar e dar o parecer final, aprovando a compra.

Esses documentos variam de acordo com o equipamento. Se for um painel elétrico ou um Centro de Controle de Motores, devem ser enviados os diagramas unifilares e funcionais, vistas frontais, lista de dispositivos e dados técnicos. Sendo um motor, devem ser

enviadas, folhas de dados contendo todos os dados elétricos do motor como: corrente nominal, tensão, número de pólos, número de fases, pintura, elevação de temperatura e inúmeras outras; além das curvas características do motor: torque *versus* velocidade e corrente *versus* velocidade.

Se todos os documentos estiverem de acordo com as normas e com a Especificação Técnica, o documento é aceito e o cliente pode comprar o equipamento.

## **7 AVALIAÇÃO E CONCLUSÕES**

Através da experiência adquirida na MANA Engenharia e Consultoria S.A. durante o estágio integrado realizado entre 08 de maio a 24 de outubro de 2008, pude perceber a importância do estágio supervisionado para a formação profissional do Engenheiro Eletricista. Esse período proporcionou um grande crescimento para a minha vida profissional e pessoal, pois convivi com profissionais qualificados de várias especialidades que estão sempre dispostos a compartilhar seus conhecimentos e transmitir suas experiências. Também coloquei em prática os conhecimentos adquiridos na universidade e exercitei o trabalho em grupo.

Através do estágio foi possível conhecer como funciona uma empresa de engenharia, tendo acesso às normas e hierarquia da mesma, respeitando padrões de documentação e visando sempre o bom relacionamento entre os colaboradores. Além de possibilitar um aprendizado técnico e um contato com as áreas administrativas e burocráticas da engenharia, mostrando ainda mais a importância do trabalho em equipe e de ter um bom relacionamento com os seus integrantes.

E foi durante as atividades realizadas que tive as primeiras experiências do dia a dia de um engenheiro. Dentre as diversas situações vivenciadas estão a tomada de decisão em situações adversas e imprevistas, desenvolvendo em senso de disciplina e responsabilidade, o que é muito importante para um mercado de trabalho cada vez mais exigente e competitivo.

## 8 BIBLIOGRAFIA

1. MAMEDE FILHO J. *Manual de Equipamentos Elétricos Vol.1*. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 2ª Edição.
2. MAMEDE FILHO J. *Manual de Equipamentos Elétricos Vol.2*. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 2ª Edição.
3. STEVENSON, W.D. Jr. *Elementos de Análise de Sistemas de Potência*. Editora McGRAW-Hill do Brasil, São Paulo, 1978.
4. COTRIM, A.A.M. *Instalações Elétricas*. Editora McGRAW-Hill do Brasil, São Paulo, 1982.
5. NISKIER, J. *Manual de Instalações Elétricas*. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2005.
6. *Instalações Elétricas de Baixa Tensão*. ABNT – NBR 5410/2004.
7. *Transformador de Corrente*. ABNT – NBR 6856/1992.
8. *Transformador de Potencial Indutivo*. ABNT – NBR 6855/1992.
9. *Dimensionamento: Baixa Tensão, uso geral*. Prysmian, Cables and System. 2006
10. *PN-70-26 – Simbologia para documentos de eletricidade*. Braskem, 2004.
11. *Disjuntores e Interruptores de carga moldada BT* – Catálogo da Schneider, 2004.
12. *Power Tools for Windows -CAPTOR Manual Reference* – SKM System Analysis, Inc. 1997
13. Home Page da ABB - [www.br.abb.com](http://www.br.abb.com)
14. Home Page da General Eletrics – [www.ge.com.br](http://www.ge.com.br)

15. Home Page da Siemens – [www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)
16. Home Page da Schneider Eletrics – [www.schneider-eletric.com.br](http://www.schneider-eletric.com.br)
17. Home Page da Braskem – [www.braskem.com](http://www.braskem.com)
18. Home Page da Mana Engenharia – [www.manaengenharia.com.br](http://www.manaengenharia.com.br)
19. “Capacidade de Curto-Circuito” – obtido em [www.ficap.com.br](http://www.ficap.com.br)
20. *Instalações Elétricas Residenciais*. Elektro/Pirelli. 2003.

## ANEXO A – TABELAS

**Tabela A.1 – Fatores de Correção de Agrupamento – NBR 5410/2004**

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,86	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				36 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

**Tabela A.2 – Capacidade de Condução de Corrente – NBR 5410/2004**

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230

**Tabela A.3 – Queda de Tensão em V/A.km - Elektro/Pirelli. 2003**

Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	Eletroduto e eletrocalha <sup>(A)</sup> (material magnético)		Eletroduto e eletrocalha <sup>(A)</sup> (material não-magnético)			
	Pirastic, Pirastic Flex		Pirastic e Pirastic Flex			
	Circuito monofásico e trifásico		Circuito monofásico		Circuito trifásico	
	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95
1,5	23	27,4	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	14	16,8	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,0	10,5	8,96	10,6	7,79	9,15
6	5,87	7,00	6,03	7,07	5,25	6,14
10	3,54	4,20	3,63	4,23	3,17	3,67
16	2,27	2,70	2,32	2,68	2,03	2,33
25	1,50	1,72	1,51	1,71	1,33	1,49
35	1,12	1,25	1,12	1,25	0,98	1,09
50	0,86	0,95	0,85	0,94	0,76	0,82
70	0,64	0,67	0,62	0,67	0,55	0,59
95	0,50	0,51	0,48	0,50	0,43	0,44
120	0,42	0,42	0,40	0,41	0,36	0,36
150	0,37	0,35	0,35	0,34	0,31	0,30
185	0,32	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25
240	0,26	0,25	0,26	0,24	0,23	0,21
300	0,27	0,22	0,23	0,20	0,21	0,18
400	0,24	0,20	0,21	0,17	0,19	0,16
500	0,23	0,19	0,19	0,16	0,17	0,14

Tabela A.4 – Fatores de Assimetria – IEEE

Fator Potência Curto-Circuito (%)	Relação X/R Curto-Circuito	Corrente de Pico Máxima Instantânea 1 $\phi$	Corrente Eficaz Máxima 1 $\phi$ a $\frac{1}{2}$ ciclo	Corrente Eficaz Média 1 $\phi$ a $\frac{1}{2}$ ciclo
0		2.828	1.732	1.394
1	100	2.785	1.696	1.374
2	49.993	2.743	1.665	1.355
3	33.322	2.702	1.630	1.336
4	24.979	2.663	1.598	1.318
5	19.974	2.625	1.568	1.301
6	16.623	2.589	1.540	1.285
7	14.251	2.554	1.511	1.270
8	13.460	2.520	1.485	1.256
9	11.066	2.487	1.460	1.241
10	9.9301	2.455	1.436	1.229
11	9.0354	2.424	1.413	1.216
12	8.2733	2.394	1.391	1.204
13	7.6271	2.364	1.372	1.193
14	7.0721	2.336	1.350	1.182
15	6.5912	2.309	1.330	1.171
16	6.1695	2.282	1.312	1.161
17	5.7947	2.256	1.294	1.152
18	5.4649	2.231	1.277	1.143
19	5.1672	2.207	1.262	1.135
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
21	4.6557	2.160	1.232	1.119
22	4.4341	2.138	1.218	1.112
23	4.2313	2.11	1.205	1.105
24	4.0450	2.095	1.192	1.099
25	3.8730	2.074	1.181	1.093
26	3.7138	2.054	1.170	1.087
27	3.5661	2.034	1.159	1.081
28	3.4286	2.015	1.149	1.075
29	3.3001	1.996	1.139	1.070
30	3.1798	1.978	1.130	1.066
31	3.0669	1.960	1.121	1.062
32	2.9608	1.943	1.113	1.057
33	2.8606	1.926	1.105	1.053
34	2.7660	1.910	1.098	1.049
35	2.6764	1.894	1.091	1.046
36	2.5916	1.878	1.084	1.043
37	2.5109	1.863	1.078	1.039
38	2.4341	1.848	1.073	1.036
39	2.3611	1.833	1.068	1.033
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
41	2.2246	1.805	1.057	1.028
42	2.1608	1.791	1.053	1.026
43	2.0996	1.778	1.049	1.024
44	2.0409	1.765	1.045	1.022
45	1.9845	1.753	1.041	1.020
46	1.9303	1.740	1.038	1.019
47	1.8780	1.728	1.034	1.017
48	1.8277	1.716	1.031	1.016
49	1.7791	1.705	1.029	1.014
50	1.7321	1.694	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3333	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.002	1.001
75	0.8819	1.486	1.0008	1.0004
80	0.7500	1.460	1.0002	1.00005
85	0.6198	1.439	1.00004	1.00002
100	0.0000	1.414	1.00000	1.00000

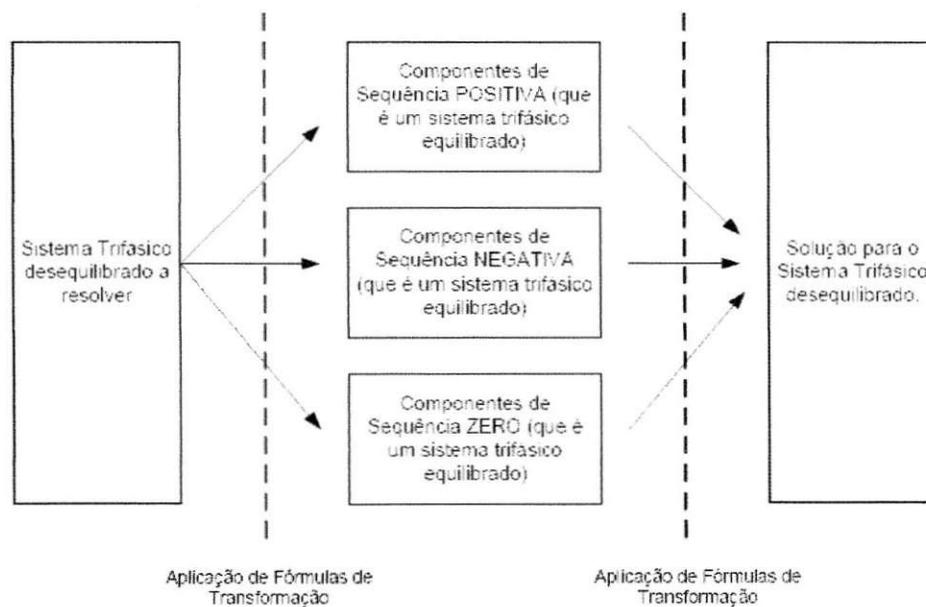
**Tabela A.5 - Símbolos numéricos designativos da função dos dispositivos elétricos**

Nr	Denominação
1	Elemento Principal
2	função de partida/ fechamento temporizado
3	função de verificação ou interbloqueio
4	contator 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 síncrona
14	dispositivo de subvelocidade
15	dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
16	reservado para futura aplicação
17	chave de derivação ou descarga
18	dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	contator de transição partida-marcha
20	válvula operada eletricamente
21	relé de distância
22	disjuntor equalizador
23	dispositivo de controle de temperatura
24	Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25	relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26	dispositivo térmico do equipamento
27	relé de subtensão
28	reservado para futura aplicação
29	contator de isolamento
30	relé anunciador
31	dispositivo de excitação
32	relé direcional de potência
33	chave de posicionamento
34	chave de sequência operada por motor
35	dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36	dispositivo de polaridade
37	relé de subcorrente ou subpotência
38	dispositivo de proteção de mancal
39	reservado para futura aplicação
40	relé de perda de excitação
41	disjuntor ou chave de campo
42	disjuntor/ chave de operação normal
43	dispositivo de transferência manual
44	relé de sequência de partida
45	reservado para futura aplicação
46	relé de desbalanceamento de corrente de fase
47	relé de sequência de fase de tensão
48	relé de sequência incompleta/ partida longa
49	relé térmico
50	relé de sobrecorrente instantâneo
51	relé de sobrecorrente temporizado
52	disjuntor de corrente alternada
53	relé para excitatriz ou gerador CC

54	disjuntor para corrente contínua, alta velocidade
55	relé de fator de potência
56	relé de aplicação de campo
57	dispositivo de 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 temporizador
63	relé de pressão de gás (Buchholz)
64	relé de proteção de terra
65	regulador
66	relé de supervisão do número de partidas
67	relé direcional de sobrecorrente
68	relé de bloqueio por oscilação de potência
69	dispositivo de controle permissivo
70	reostato eletricamente operado
71	dispositivo de detecção de nível
72	disjuntor de corrente contínua
73	contator de resistência de carga
74	função de alarme
75	mecanismo de mudança de posição
76	relé de sobrecorrente CC
77	transmissor de impulsos
78	relé de medição de ângulo de fase/ proteção contra falta de sincronismo
79	relé de religamento
80	reservado para futura aplicação
81	relé de sub/ sobrefrequência
82	relé de religamento CC
83	relé de seleção/ transferência automática
84	mecanismo de operação
85	relé receptor de sinal de telecomunicação
86	relé auxiliar de bloqueio
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	contator de variação de campo
94	relé de desligamento
95 à 99	usado para aplicações específicas

## ANEXO B – SOLUÇÃO DE CORRENTES EM SISTEMA DESEQUILIBRADO UTILIZANDO O MÉTODO DE FORTESCUE

Na Figura B.1 está o diagrama esquemático da solução usando componentes simétricas:



**Figura B.1 – Solução para um sistema desequilibrado**

As relações de transformação são:

$$\begin{aligned} V_a &= V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \\ V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} = V_{a0} + a^2 V_{a1} + a V_{a2}, \\ V_c &= V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} = V_{a0} + a V_{a1} + a^2 V_{a2} \end{aligned} \quad (\text{B.1})$$

na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}. \quad (\text{B.2})$$

A transformação inversa é dada por:

$$\begin{aligned} V_{a0} &= \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c) \\ V_{a1} &= \frac{1}{3}(V_a + aV_b + a^2V_c), \\ V_{a2} &= \frac{1}{3}(V_a + a^2V_b + aV_c) \end{aligned} \quad (\text{B.3})$$

na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}. \quad (\text{B.4})$$

As equações acima, para tensão, são válidas também para corrente.

Para as correntes de curto-circuito fase-terra, os circuitos de seqüência positiva, negativa e zero estão em fase, ou seja,  $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$ . Nestas condições a corrente da fase no ponto da falta será:

$$I_a = 3I_{a0}, \quad (\text{B.5})$$

isto significa que os circuitos de seqüência estão em série, pois apresentam a mesma corrente, dessa forma:

$$V_a = Va_0 + Va_1 + Va_2 = 0, \quad (\text{B.6})$$

$$Va_1 = E - Z_1 I_{a1}, \quad (\text{B.7})$$

$$Va_0 = -Z_0 I_{a0}, \quad (\text{B.8})$$

$$Va_2 = -Z_2 I_{a2}, \quad (\text{B.9})$$

e

$$V_a = E - Z_1 I_{a1} - Z_2 I_{a2} - Z_0 I_{a0} = 0 \quad (\text{B.10})$$

Como,  $Ia_1 = Ia_2 = Ia_0$ ,

$$E = Z_1 Ia_1 + Z_2 Ia_2 + Z_0 Ia_0, \quad (\text{B.11})$$

Isolando  $Ia_1$ :

$$Ia_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}. \quad (\text{B.12})$$

E como  $Ia = 3Ia_0$ , na fase sobe falta (fase a), a corrente será:

$$Icc_a = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}. \quad (\text{B.13})$$

Levando-se em conta também a forma de aterramento do neutro a Equação B.13 pode se transformar na apresentada a seguir:

$$Icc_a = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Zn}. \quad (\text{B.14})$$

A corrente assimétrica é encontrada através do fator de assimetria, de maneira análoga a corrente simétrica.

## ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DE TRANSFORMADORES DE CORRENTE

### a) Corrente Nominal

As correntes nominais primárias devem ser compatíveis com a corrente de carga do circuito primário. As correntes nominais secundárias são adotadas geralmente iguais a 5A. Em alguns casos especiais, quando os aparelhos, normalmente relés de proteção são instalados distantes dos transformadores de corrente, pode-se adotar a corrente secundária de 1A, a fim de reduzir a queda de tensão nos fios de interligação. Na Tabela C.1 podem ser vistos os valores padronizados das relações nominais.

**Tabela C.1 – Relações nominais simples - NBR 6856/1992**

Corrente primária nominal (A)	Relação nominal	Corrente primária nominal (A)	Relação nominal	Corrente primária nominal (A)	Relação nominal
5	1:1	100	20:1	1000	200:1
10	2:1	150	30:1	1200	240:1
15	3:1	200	40:1	1500	300:1
20	4:1	250	50:1	2000	400:1
25	5:1	300	60:1	2500	500:1
30	6:1	400	80:1	3000	600:1
40	8:1	500	100:1	4000	800:1
50	10:1	600	120:1	5000	1000:1
60	12:1	800	160:1	6000	1200:1
75	15:1			8000	1600:1

### b) Cargas Nominais

Os transformadores de corrente devem ser especificados de acordo com a carga que será ligada no seu secundário. Dessa forma, a NBR 6856/1992 padroniza as cargas secundárias de acordo com a Tabela C.2.

**Tabela C.2 – Cargas Nominais - NBR 6856/1992**

Cargas Nominais			Características a 60 Hz e 5A			
Designação	Potência Aparente (VA)	Fator de Potência	Resistência Efetiva ( $\Omega$ )	Reatância Indutiva ( $\Omega$ )	Impedância ( $\Omega$ )	Tensão a 20 x 5A (V)
C 2,5	2,5	0,90	0,09	0,044	0,1	10
C5,0	5,0	0,90	0,18	0,087	0,2	20
C12,5	12,5	0,90	0,45	0,218	0,5	50
C22,5	22,5	0,90	0,81	0,392	0,9	90
C45	45	0,90	1,62	0,785	1,8	180
C90	90	0,90	3,24	1,569	3,6	360
C25	25	0,50	0,50	0,866	1,0	100
C50	50	0,50	1,0	1,732	2,0	200
C100	100	0,50	2,0	3,464	4,0	400
C200	200	0,50	4,0	6,926	8,0	800

Para um transformador de corrente, carga secundária representa o valor ôhmico das impedâncias formadas pelos diferentes aparelhos ligados a seu secundário, incluindo os condutores de interligação.

c) Fator de sobrecorrente

Também chamado de fator de segurança, é o fator pelo qual se deve multiplicar a corrente nominal primária do TC para se obter a máxima corrente no seu circuito primário, até o limite de sua classe de exatidão. A NBR 6856/1992 especifica o fator de sobrecorrente para serviço de proteção em 20 vezes a corrente nominal.

d) Fator térmico nominal

É aquele em que se pode multiplicar a corrente primária nominal de um TC para se obter a corrente que pode conduzir continuamente, na frequência nominal, e com cargas especificadas, que sejam excedidos os limites de elevação de temperatura definidos por

norma. A NBR 6856/1992 especifica os seguintes fatores térmicos nominais.: 1,0 - 1,2 - 1,3 - 1,5 - 2,0.

e) Corrente térmica nominal

É o valor eficaz da corrente primária de curto-circuito simétrico que o TC pode suportar por um tempo definido, em geral, igual a 1s, estando com o enrolamento secundário em circuito-circuito, sem que sejam excedidos os limites de elevação de temperatura especificada por norma.

f) Corrente dinâmica nominal

É o valor de impulso da corrente de circuito assimétrica que circula no primário do transformador de corrente e que este pode suportar, por um tempo estabelecido de meio ciclo, estando os enrolamentos secundários em curto-circuito, sem que seja afetado mecanicamente, em virtude das forças eletrodinâmicas desenvolvidas.

A corrente dinâmica nominal é normalmente 2,5 vezes a corrente térmica nominal.

g) Classe de exatidão

Os transformadores de corrente podem ser classificados de acordo com o seu uso, medição ou proteção. Dessa forma a classe de exatidão de cada um deles é denominada de forma diferente.

A classe de exatidão exprime nominalmente o erro esperado do transformador de corrente levando em conta o erro de relação de transformação e o erro de defasamento entre a corrente primária e secundária.

Para medição, em caso de curto circuito, não há necessidade que a corrente seja transformada com exatidão. É até melhor que em condições de curto circuito, o TC sature, proporcionando assim, uma auto proteção aos equipamentos de medição conectados no seu secundário.

Os TC para serviço de medição devem ser enquadrados em uma das seguintes classes de exatidão: 0,3 - 0,6 - 1,2

É também prevista uma classe de exatidão 3, porém, por não ter limitação de ângulo de fase, esta classe não deve ser utilizada para serviço de medição de potência ou energia.

Segundo a ABNT, indica-se a classe de exatidão seguida do símbolo da maior carga nominal com a qual se verifica essa classe de exatidão, de acordo com a Tabela C.2. Como por exemplo, 0,3-C45.

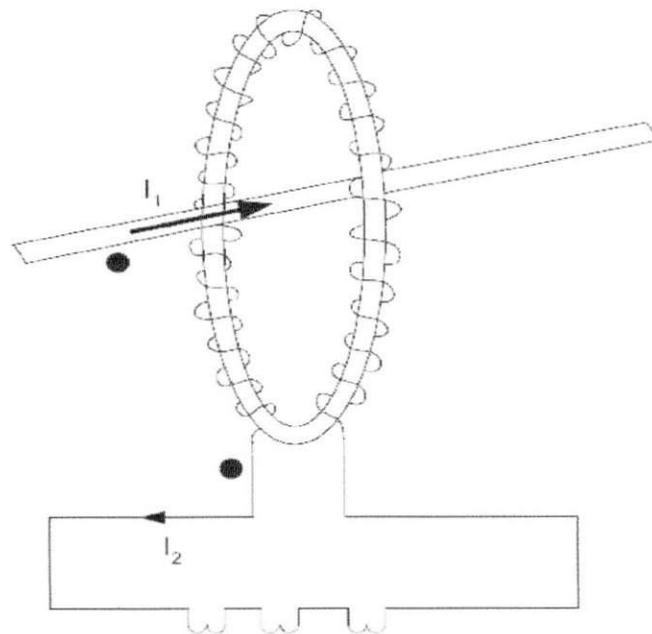
Seguem abaixo algumas aplicações típicas de acordo com a classe de exatidão do TC.

- **Classe 0,3** – medidas em laboratórios, medidas de potência ou energia para fins de faturamento (nível de isolamento 0,6 kV ou mais).
- **Classe 0,6** - medida de potência ou energia para fins de faturamento (nível de isolamento 0,6 e 1,2 kV)
- **Classe 1,2** - alimentação de instrumentos indicadores e registradores (amperímetros, voltímetros, wattímetros, etc.)

Os TC's para serviço de proteção devem retratar fielmente as correntes de curto-circuito e é importante que os mesmos não sofram os efeitos da saturação. Sua classe de exatidão é classificada como:

- **Classe A** – são aqueles cujo enrolamento secundário apresenta uma reatância que não pode ser desprezada. Nessa classe, estão enquadrados todos os TC's que não se enquadram na classe B.

- **Classe B** – são aqueles cujo enrolamento secundário apresenta reatância que poder ser desprezada. Nesta classe, estão enquadrados os TC's com núcleo toroidal, ou simplesmente TC's de bucha. Na Figura C.1 pode ser visto um exemplo deste TC.



*Figura C.1 – Transformador de corrente tipo bucha.*

## ANEXO D – CARACTERÍSTICAS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

### a) Tensões nominais

Os transformadores de potencial de acordo com a norma NBR 6855/1992, devem suportar tensões de serviço de 10% cima de seu valor nominal, em regime contínuo, sem nenhum prejuízo a sua integridade.

As tensões nominais primárias devem ser compatíveis com as tensões de operação dos sistemas primários aos quais os TP's estão ligados. A tensão secundária é padronizada em 115V, para TP's do grupo 1 e 115 e  $115/\sqrt{3}$  V para TP's pertencentes aos grupos 2 e 3. Na Tabela D.1 estão as tensões nominais primárias e as relações nominais, retiradas da NBR 6855/1992 da ABNT.

**Tabela D.1 – Tensões primárias nominais e relações nominais - NBR 6855/1992**

Grupo 1 para ligação de fase para fase		Grupos 2 e 3 para ligação de fase para neutro			
Tensão primária nominal (V)	Relação nominal	Tensão primária nominal (V)	Relação nominal		
			Tensão secundária nominal (V)		
			Aprox. 115/3	$115/\sqrt{3}$	Aprox. 115
115	1:1				
230	2:1				
402,5	3,5:1				
460	4:1				
2300	20:1	$2300\sqrt{3}$	36:1	20:1	12:1
3450	30:1	$3450\sqrt{3}$	52,5:1	30:1	17,5:1
4025	35:1	$4025\sqrt{3}$	60:1	35:1	20:1
4600	40:1	$4600\sqrt{3}$	72:1	40:1	24:1
6900	60:1	$6900\sqrt{3}$	105:1	60:1	35:1
8050	70:1	$8050\sqrt{3}$	120:1	70:1	40:1
11500	100:1	$11500\sqrt{3}$	180:1	100:1	60:1
13600	120:1	$13600\sqrt{3}$	210:1	120:1	70:1
23000	200:1	$23000\sqrt{3}$	360:1	200:1	120:1
34500	300:1	$34500\sqrt{3}$	525:1	300:1	175:1
46000	400:1	$46000\sqrt{3}$	720:1	400:1	240:1
69000	600:1	$69000\sqrt{3}$	1050:1	600:1	350:1
		$136000\sqrt{3}$	2100:1	1200:1	700:1
		$230000\sqrt{3}$	3600:1	2000:1	1200:1

## b) Cargas nominais

A soma das cargas que são acopladas a um transformador de potencial deve ser compatível com a carga nominal deste equipamento, padronizada pela NBR 6855/1992 (Tabela D.2).

Ao contrário dos transformadores de corrente, a queda de tensão nos condutores de interligação entre os instrumentos de medida e o transformador de potencial é muito pequena. Contudo, devem-se tomar precauções quanto às quedas de tensão secundárias para circuitos muito longos, que podem ocasionar erros de medida.

Tabela D.2 – Cargas Nominiais – NBR 6855/1992

Características a 60 Hz e 120 V					
Designação	Potência aparente (VA)	Fator de potência	Resistência ( $\Omega$ )	Reatância indutiva ( $\Omega$ )	Impedância ( $\Omega$ )
P 12,5	12,5	0,10	115,2	1146,2	1152
P 25	25	0,70	403,2	411,3	576
P 35	35	0,20	82,2	402,7	411
P 75	75	0,85	163,2	101,1	192
P 200	200	0,85	61,2	37,9	72
P 400	400	0,85	30,6	19,0	36
Características a 60 Hz e 69,3 V					
Designação	Potência aparente (VA)	Fator de potência	Resistência ( $\Omega$ )	Reatância indutiva ( $\Omega$ )	Impedância ( $\Omega$ )
P 12,5	12,5	0,10	38,4	382,0	384
P 25	25	0,70	134,4	137,1	192
P 35	35	0,20	27,4	134,4	137
P 75	75	0,85	54,4	33,7	64
P 200	200	0,85	20,4	12,6	24
P 400	400	0,85	10,2	6,3	12

Notas: As características 60Hz e 120V são válidas para tensões secundárias entre 100 e 130V e as características a 60Hz e 69,3V são válidas para tensões secundárias entre 58 e 75V.

## c) Classe de Exatidão

Os transformadores de potencial, segundo a NBR 6855/1992, podem apresentar as seguintes classes de exatidão: 0,3 – 0,6 – 1,2, existindo ainda TP's da classe de exatidão 0,1.

Os TP's construídos na classe de exatidão 0,1 são utilizados nas medições em laboratório ou em outras que requeiram uma elevada precisão de resultado. Já os TP's enquadrados na classe de exatidão 0,3 são destinados à medição de energia elétrica com fins de faturamento. Enquanto isso, os TP's de classe 0,6 são utilizados no suprimento de aparelhos de proteção e medição de energia elétrica sem a finalidade de faturamento. Os TP's da classe 1,2 são aplicados na medição indicativa de tensão.