

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Mestrado Profissional

**SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA
OPERAÇÃO DE CHAVES SECCIONADORAS
DE ALTA TENSÃO BASEADO NA ANÁLISE
DAS CORRENTES DO MOTOR DE
ACIONAMENTO**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

ANTONIO FERNANDO DE SOUZA

Florianópolis, Dezembro de 2002.

SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA OPERAÇÃO DE CHAVES
SECCIONADORAS DE ALTA TENSÃO BASEADO NA ANÁLISE
DAS CORRENTES DO MOTOR DE ACIONAMENTO

Antonio Fernando de Souza

“Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de concentração em Sistemas de Energia Elétrica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.”

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Ph D.

Orientador

Prof. Edson Roberto de Pieri, Dr.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Bancada Examinadora:

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Ph D.

Presidente

Prof. Hans Helmut Zürn, Ph D.

Prof. Denizar Cruz Martins, Dr.

Eng°. Marcos Romeu Benedetti, MSc.

A DEUS, PELA VIDA.

Aos meus pais Geraldo e Marta pela educação e me permitirem chegar aqui. A minha esposa Márcia e meus filhos Lucas, Fellype e Flávia pelo carinho compreensão e apoio.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Jefferson L. B. Marques, por sua orientação nesta dissertação e apoio no decorrer do curso.

A minha esposa Márcia e Filhos Lucas, Fellype e Flávia que me suportaram nas horas de stress e sempre me apoiaram, principalmente nos momentos em que pensei em desistir devido às dificuldades passadas.

Aos colegas da Eletrosul, os quais me apoiaram durante as realizações deste trabalho e muito em especial o pessoal de campo que não mediram esforços para me ajudar.

Aos meus irmãos de fé que oraram por mim durante todo o meu trabalho e com certeza continuam orando, e me serviram de suporte nos momentos difíceis desta caminhada.

Aos colegas de curso, os quais souberam me apoiar durante todo o curso, muito em especial a aqueles os quais estudamos juntos.

A Eletrobrás e Eletrosul pela oportunidade oferecida nesta etapa profissional de minha vida.

Por fim agradeço a Deus, o Senhor de todas as coisas que esteve a minha frente me protegendo, ao meu lado me ajudando sempre que necessário, atrás de mim me corrigindo e perdoadando meus erros, e mantendo assim, em meu coração, acesa a chama da vontade de vencer.

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO.....	II
DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVO.....	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 CHAVE SECCIONADORA.....	3
2.1.1 <i>EQUIPAMENTOS DE MANOBRA</i>	3
2.1.2 <i>CHAVE</i>	3
2.1.3 <i>SECCIONADOR</i>	4
2.1.4 <i>CHAVE DE TERRA E CHAVE DE ATERRAMENTO RÁPIDO</i>	4
2.1.5 <i>PARTES E COMPONENTES DO SECCIONADOR</i>	5
2.1.6 <i>OPERAÇÃO E CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO</i>	8
2.1.7 <i>GRANDEZAS MAIS UTILIZADAS</i>	8
2.1.8 <i>TIPOS DE INSTALAÇÃO</i>	9
2.1.9 <i>CLASSIFICAÇÃO DAS CHAVES</i>	10
2.1.10 <i>PRINCIPAIS PARTES CONSTITUINTES DE UM SECCIONADOR</i>	10
2.1.11 <i>TIPOS CONSTRUTIVOS DE CHAVES</i>	17
2.1.12 <i>OPERAÇÃO DO SECCIONADOR</i>	20
2.1.13 <i>MANUTENÇÃO DE SECCIONADORES</i>	24
2.1.14 <i>AJUSTES DE SECCIONADORES</i>	25
2.1.15 <i>ENSAIOS EM SECCIONADORES</i>	26
2.1.16 <i>DEFEITOS MAIS COMUNS EM SECCIONADORES</i>	31
2.1.17 <i>SECCIONADORES EXISTENTES NA ELETROSUL</i>	34
2.2 MOTORES DE INDUÇÃO	35
2.2.1 <i>CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS</i>	35

2.2.2	<i>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO</i>	37
2.2.3	<i>CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE INDUÇÃO</i>	39
2.3	FORMATO COMTRADE.....	44
2.3.1	<i>INTRODUÇÃO</i>	44
2.3.2	<i>DADOS GERAIS</i>	44
2.3.3	<i>APLICAÇÕES</i>	45
2.3.4	<i>PADRÃO COMTRADE</i>	46
2.3.5	<i>CONCLUSÃO</i>	50
3	MATERIAL E MÉTODOS	51
3.1	APRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES.....	55
3.1.1	<i>AQUISIÇÃO DA CORRENTE DO MOTOR DA CHAVE SECCIONADORA</i>	55
3.1.2	<i>PRÉ – AMPLIFICAÇÃO</i>	56
3.1.3	<i>CONDICIONAMENTO DO SINAL</i>	58
3.1.4	<i>CONVERSOR ANALÓGICO/DIGITAL E INTERFACE</i>	64
3.1.5	<i>FONTE DE ALIMENTAÇÃO</i>	66
3.2	ALGORITMOS DE PROCESSAMENTO DIGITAL E ANÁLISE	70
3.2.1	<i>SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA CÁLCULO DO VALOR RMS DA FORMA DE ONDA DO SINAL</i>	72
3.3	TRATAMENTO DOS DADOS ADQUIRIDOS.....	74
4	RESULTADOS	77
4.1	TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO	77
4.2	TESTES REALIZADOS NO CAMPO.....	78
4.2.1	<i>SECCIONADORA DE 230KV MODELO SPIG DA SUBESTAÇÃO DE PALHOÇA</i>	78
4.2.2	<i>VERIFICAÇÃO DURANTE AJUSTE DE CHAVE SECCIONADORA</i>	81
4.2.3	<i>AJUSTE CS 733 LAELC DA SE JOI 230 KVC</i>	83
4.2.4	<i>VERIFICAÇÃO DO ESTADO DAS CHAVES SECCIONADORAS 673 138KV</i>	88
4.2.5	<i>VERIFICAÇÃO DO ESTADO DA CHAVE SECCIONADORA 671 138KV</i>	91
4.2.6	<i>VERIFICAÇÃO DO ESTADO DA CHAVE SECCIONADORA 731 230KV</i>	93
5	DISCUSSÃO, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	95
5.1	CONCLUSÕES.....	96
5.2	TRABALHOS FUTUROS.....	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 2-1 – Pólo de um seccionador de 69kV.	11
Figura 2-2 – Diagrama simplificado do seccionador tipo AL.....	17
Figura 2-3 – Diagrama simplificado do seccionador tipo AC.	18
Figura 2-4 – Diagrama simplificado do seccionador tipo AV.	18
Figura 2-5 – Diagrama simplificado do seccionador tipo PG.....	19
Figura 2-6 – Diagrama simplificado do seccionador tipo SV.....	20
Figura 2-7 – Diagrama simplificado do seccionador tipo SH.....	20
Figura 2-8 – Disposição da Transmissão.....	21
Figura 2-9 – Acoplamento entre Fases.....	22
Figura 2-10 – <i>Transmissão de garfo e sem fim.</i>	23
Figura 2-11 – Cubículo ou armário de acionamento e comando (armário de comando). ...	23
Figura 2-12 – Detalhe da lâmina e coluna giratória.	24
Figura 2-13 – Detalhe do armário de comando.....	31
Figura 2-14 – Detalhe das fases B e C de uma seccionadora tipo bengala.	31
Figura 2-15 – Garfo e capacete quebrados. Figura 2-16 – Trinca no garfo.	32
Figura 2-17 – Garfo, capacete e contrabalanços montados.....	32
Figura 2-18 – Foto do rotor gaiola.	35
Figura 2-19 – Foto rotor bobinado.....	36
Figura 2-20 – Regime de partida para motores com rotor bobinado com inserção de resistência.....	37
Figura 2-21 – Corte transversal do motor de indução.....	37
Figura 2-22 – Curva torque x Velocidade.....	39
Figura 2-23 – Curvas características do conjugado de motores conforme sua categoria.....	40
Figura 2-24 – Tipos de curvas de conjugado de motores de indução.	41
Figura 2-25 – Curva do conjugado do motor comparativa com o torque próprio.....	43
Figura 2-26 – Amostra de um dado no arquivo DAT do COMTRADE.....	47
Figura 2-27 – Configuração do arquivo tipo CFG do COMTRADE.....	48
Figura 2-28 – Exemplo do arquivo tipo CFG do COMTRADE.....	49
Figura 3-1 – Processo de alta tecnologia em estudos pela ALSTOM.....	53
Figura 3-2 – <i>Diagrama de blocos do sistema desenvolvido.</i>	54
Figura 3-3 – Esquemático do TC alicate utilizado.A relação da saída do mesmo é de	

100mV para cada ampère que circula no ponto de leitura.....	55
Figura 3-4 – Arquitetura interna do amplificador de instrumentação INA118 da Texas Instruments.....	56
Figura 3-5 – <i>Circuito pré-amplificador implementado.</i>	57
Figura 3-6 - Diagrama em blocos do módulo de condicionamento do sinal.....	58
Figura 3-7 – <i>Circuito do filtro passa-alta Butterworth de 2ª ordem de componentes iguais. $f_c = 0,5\text{Hz}$.</i>	59
Figura 3-8 – Circuito do filtro passa-baixa Butterworth de 6ª ordem de componentes iguais $f_c = 350\text{Hz}$	60
Figura 3-9 – <i>Circuito interno do MX536A.</i>	61
Figura 3-10 – Circuito implantado para cálculo eletrônico do valor eficaz, baseado no CI MX536A da Maxim.	62
Figura 3-11 – Circuito para mudança da faixa dinâmica do sinal de $\pm 5\text{V}$ para $0 - 5\text{V}$	63
Figura 3-12 - Conversão A/D e comunicação com o micro computador.....	64
Figura 3-13 – <i>Diagrama operacional do MAX187.</i>	64
Figura 3-14 – <i>Relações temporais do MAX187.</i>	65
Figura 3-15 – Conversor A/D MAX 187 com suas pinagens.	65
Figura 3-16 – Configuração do MAX220 ou MAX3232 para o interfaceamento do sistema de aquisição de dados desenvolvido e o microcomputador. SCLK , DOUT e CS vem do conversor A/D MAX187	66
Figura 3-17 – Diagrama de blocos da fonte de alimentação.	66
Figura 3-18 – Estabilizador em +5V.....	67
Figura 3-19 – Inversor de +5V para -5V.	67
Figura 3-20 – <i>Esquemático do sistema montado para coleta dos dados sem a fonte de alimentação.</i>	69
Figura 3-21 – Esquemático da fonte de alimentação do sistema.....	69
Figura 3-22 - Fluxograma do software de aquisição da corrente elétrica do motor de acionamento da chave seccionadora através da porta serial de um microcomputador.	71
Figura 3-23 - Fluxograma da sistemática utilizada para cálculo do valor RMS	73
Figura 3-24 - Diagramas de blocos detalhando operações em software para análise dos dados.....	74
Figura 3-25 – <i>Caixa de diálogo do programa de manipulação dos dados.</i>	75
Figura 3-26 – Caixa de diálogo do programa de conversão de arquivo texto para	

COMTRADE.	76
Figura 3-27 - Algoritmo do processo todo.	76
Figura 4-1 – <i>Gráfico do teste realizado em um ventilador de 3 posições. Em amarelo dados originais e em vermelho o valor eficaz calculado por software da corrente do motor elétrico do ventilador.</i>	77
Figura 4-2 – Sinal senoidal de 600 mV pico a pico e 60 Hz.	78
Figura 4-3 – Gráfico do fechamento da seccionadora 733 da SE Palhoça antes da manutenção tipo “12 anos” com tempo total de abertura de 5,34 segundos. Este primeiro gráfico é antes da manutenção, embora a seccionadora estivesse em boas condições.	79
Figura 4-4 – <i>Gráfico dos dados coletados após manutenção tipo “12 anos” da seccionadora 733 da SE Palhoça.</i>	79
Figura 4-5 – <i>Fechamento da seccionadora 733 da SE PAL antes (gráfico superior) e após a manutenção (gráfico inferior).</i>	81
Figura 4-6- Gráfico da corrente eficaz do motor de uma chave seccionadora antes do término dos ajustes.	82
Figura 4-7 – <i>Análise simultânea de duas coletas de dados. Em vermelho antes do ajuste e em preto, após os ajustes na mesma seccionadora.</i>	82
Figura 4-8 – Gráfico de ajuste da CS 671 SE JO. Este gráfico mostra um comando de abertura seguido de um de fechamento antes da chave ser ajustada e mostra que no fechamento temos problemas no momento do engate do contato.	83
Figura 4-9 – <i>Detalhamento do segundo comando executado para fechamento da CS 671 da SEJOI. Este segundo gráfico detalha o mesmo fechamento, muito embora tenha sido retirado de um segundo comando ainda antes dos primeiros ajustes, ilustrando a constância dos dados.</i>	84
Figura 4-10 – Detalhe fase B (antes do ajuste) Figura 4-11 – Detalhe fase C (antes do ajuste).	84
Figura 4-12 – Detalhe do contato após primeiro ajuste. Para comparação ver Figura 4-10.	85
Figura 4-13 – Gráfico do primeiro comando da CS 671 após os ajustes iniciais.	86
Figura 4-14 – <i>Gráfico do ajuste final da CS 671 SEJOI.</i>	87
Figura 4-15 – <i>Gráfico do primeiro comando na CS673 SE JOI. Pode-se observar que na parada no meio do curso de fechamento houve um aumento de corrente</i>	

<i>significativo, maior até mesmo que a corrente de partida</i>	88
Figura 4-16 – Gráfico dos comandos da CS 673 SEJOI após limpeza da caixa de comando.	89
Figura 4-17 – Detalhe da caixa de comando das seccionadoras 673 e 671.....	90
Figura 4-18 – Análise do primeiro comando da CS 671 SEJOI.....	91
Figura 4-19 – Análise da CS 671 SEJOI desacoplada. Apenas a caixa de comando e redução.	92
Figura 4-20 - Gráfico do comando de fechamento seguido de abertura da CS731 SE Palhoça.	93
Figura 4-21 - Detalhe da troca do contactor na CS 731 da SE PAL.	94
Figura 4-22 - <i>Gráfico do comando da CS737 da SE PAL após troca do contactor.</i>	94

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA OPERAÇÃO DE CHAVES SECCIONADORAS DE ALTA TENSÃO BASEADO NA ANÁLISE DAS CORRENTES DO MOTOR DE ACIONAMENTO

Antonio Fernando de Souza

Dezembro 2002

Orientador: Jefferson Luiz Brum Marques.

Área de contratação: Sistemas de Energia Elétrica.

Número de Páginas: 113.

Atualmente a metodologia utilizada para manutenção em chaves seccionadoras, por período de tempo tem promovido muitos casos de executar a referida manutenção sem ter a real necessidade, o que acarreta não somente a possibilidade de inserção de defeitos durante esta manutenção que o equipamento não possuía, como gastos desnecessários, além de tornar estes equipamentos indisponíveis durante suas manutenções. Outro aspecto importante é encontrar uma forma de determinar se ao fechar, a seccionadora completou o curso plenamente, ou seja se cumpriu todos os requisitos para garantir uma boa condução nos contatos agora fechados. Este ponto tem sido um gargalo para o telecontrole e a automação das SE's que necessitam supervisão local. Nas chaves seccionadoras têm sido encontrados problemas que mostram que na sua maioria são provenientes de esforços mecânicos que poderiam ser traduzidos em torque e conseqüentemente em variação de corrente elétrica do motor. Nesta proposta de trabalho tem-se como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que possa dar suporte para a determinação de quando efetuar manutenção numa chave seccionadora de alta tensão, fazendo análise das curvas da corrente do motor de acionamento verificando suas variações em função dos problemas que possam ocorrer, determinando se esta análise poderá trazer informações importantes para a manutenção da mesma. O desenvolvimento dessa metodologia está ancorado em instrumentação digital, ferramentas matemáticas para o processamento e análise de sinais. Por fim, apresentam-se alguns registros e análises de resultados dos dados coletados no campo.

Palavras-chave: Instrumentação, Chave seccionadoras, Motor elétrico, Valor RMS, Telecontrole, Subestações.

Abstract of the Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for obtaining the Master's degree in Electrical Engineering.

**SYSTEM FOR INSPECTION OF THE OPERATION OF HIGH
VOLTAGE ISOLATING SWITCHES BASED ON THE ANALYSIS OF
THE DRIVING ELECTRICAL MOTOR CURRENTS**

Antonio Fernando de Souza

December 2002

Advisor: Jefferson Luiz Brum Marques.

Contraction area: Systems of Electrical Energy.

Number of Pages: 113.

The methodology commonly used to do maintenance of isolating switches based on elapsed time has in many cases caused the execution of without the real need. The maintenance procedure may introduce defects, represents high costs, and makes the equipment temporarily unavailable. An important aspect is to find a way of determining during the closing operation that the isolating switch has completed its course fully, in order to guarantee a good conduction with the contacts shut. This fact has been a difficulty point for the remote control (telecontrol) and the automation of substations that need local supervision during the isolating switches operation. Problems have been found with isolating switches, most of isolating are connected to mechanical efforts that could be translated into torque and consequently in variation of electrical current of the driving motor. In this work was develop a methodology to give support to determine when to do maintenance in high voltage isolating switches, through the analysis of the current of the driving motor verifying its variations as a function of the mechanical problems. This analysis can bring important information for the maintenance teams. The development of this methodology is based on analogue instrumentation and mathematical tools for the processing and analysis of digital signals. Finally, we present some recordings and analyses of results of the operation of isolating switches carried out in the Eletrosul substations.

Key words: Instrumentation, Isolating Switches, Electrical motor, RMS (Root Mean Square) value, Telecontrol, Power plants.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Com a desverticalização do setor de energia elétrica, que busca a substituição de um modelo pautado em monopólios com preços regulados por um modelo baseado em uma estrutura de livre mercado, introduzindo-se a competição nas suas principais atividades, geração, transmissão e distribuição, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) decidiu por montar um conjunto de regras [1], que pretende oferecer às empresas transmissoras uma parcela variável dos custos da operação de subestações e linhas de transmissão. Além deste contrato, o ONS (Operador Nacional do Sistema) está implantando um Procedimento de Rede, onde no módulo “PROGRAMAÇÃO DAS INTERVENÇÕES EM INSTALAÇÕES DE REDE DE OPERAÇÃO”, no sub-módulo 6.5, existem critérios de controle de manutenção o que impõe índices cujas metas estabelecidas devam ser alcançadas. As empresas por sua vez estão agora tentando aumentar cada vez mais a sua disponibilidade que está diretamente vinculada à referida parcela variável da ANEEL [1] e aos índices do Procedimento de Rede do ONS [2]. Com esse propósito, nosso objetivo é aproximar cada vez mais do momento certo da manutenção de equipamentos e esta ação infere diretamente na disponibilidade dos equipamentos destas empresas.

No caso específico da chave seccionadora de alta tensão, as parcelas variáveis são as maiores, e por isto decidimos tratar a princípio este equipamento. Outra grande vantagem do trabalho, é que este poderá ser estendido a outros equipamentos, primeiramente da mesma classe e futuramente, quem sabe, de outras linhas de trabalho.

Todavia, atualmente a metodologia utilizada para manutenção nestes equipamentos do setor elétrico, é por período de tempo, e em muitos casos executa-se a referida manutenção sem a real necessidade, o que acarreta não somente a possibilidade de inserção de defeitos, que o equipamento não possuía, durante esta manutenção, como gastos desnecessários, além de tornar estes equipamentos indisponíveis durante suas manutenções.

Durante conversas com técnicos especialistas de fabricantes de chaves seccionadoras, a resposta de todos eles foi que apenas um acionamento manual na chave seccionadora, seria suficiente para dar um diagnóstico da mesma. Alguns deles, inclusive informaram poder dizer o possível ponto do defeito após este comando. Nos compêndios de manutenção da Eletrosul [3], [4], [5], [6] e [7], vemos claramente que para se verificar o

estado das mesmas, utiliza-se um processo de desacoplamento da mesma de seu comando motorizado e se faz uma leitura do torque máximo alcançado.

1.2 OBJETIVO

Nesta proposta de trabalho tem-se como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que possa dar suporte para a determinação de quando efetuar manutenção numa chave seccionadora de alta tensão, fazendo a análise das curvas da corrente do motor de acionamento verificando suas variações em função dos problemas que possam ocorrer, determinando se esta análise poderá trazer informações importantes para a manutenção da mesma.

O desenvolvimento dessa metodologia está ancorado em ferramentas de processamento e análise digital de sinais.

Antes de apresentar os defeitos mais comuns nas seccionadoras, uma vez que este trabalho tratará de vários assuntos técnicos das mais diversas áreas, será feita uma revisão da literatura a fim de que todos possam entender melhor o assunto aqui pautado. Este trabalho descreve as seccionadoras, seus modelos e tipos de manutenções que elas sofrem, bem como o princípio de funcionamento de motores e embasamentos em informática, onde será comentado também sobre a formatação COMTRADE e outros assuntos.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho inicia com uma fundamentação teórica sobre alguns temas essenciais tais como: Chave seccionadoras, Motores elétricos de indução e Formatação CONTRADE. Após esta fundamentação, descreve o desenvolvimento do protótipo para coletas de dados em campo, e finaliza com as análises em campo e suas conclusões.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CHAVE SECCIONADORA

Esse equipamento de manobra conhecido durante décadas como chave seccionadora, teve sua designação normalizada pela ABNT, nas NBR's 6935/85 e 7571/85 que trata do equipamento, ou seja, foi renomeado como seccionador. Porém, face ao que é comumente usado, continuaremos a tratá-lo como chave seccionadora.

No decorrer deste estudo será mostrado que, apesar de desempenhar uma função importante na planta de uma subestação, as chaves seccionadoras não têm acompanhado a evolução tecnológica dos demais equipamentos. Esta postura tem levado constantemente a apresentarem problemas de desempenho afetando a confiabilidade do sistema ao qual está inserido.

Seguem abaixo algumas definições mais comuns adotadas pela NBR 6935/85.

2.1.1 EQUIPAMENTOS DE MANOBRA

Equipamentos de manobra são componentes do sistema elétrico de potência que têm não somente a função de estabelecer a união entre geradores, transformadores, consumidores e linhas de transmissão e separá-los ou seccioná-los de acordo com as exigências desse serviço, como também são utilizados praticamente para proteção de todos os componentes elétricos contra a atuação perigosa de sobre-cargas, correntes de curto-circuito e contatos a terra.

As chaves seccionadoras são equipamentos que fazem parte do grupo denominado Equipamento de Manobra.

2.1.2 CHAVE

As chaves são dispositivos mecânicos de manobra, que na posição aberta assegura uma distância de isolamento e na posição fechada mantêm a continuidade do circuito elétrico, nas condições especificadas.

2.1.3 SECCIONADOR

O seccionador é um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar o circuito quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida ou restabelecida ou quando não ocorre variação de tensão significativa através dos terminais de cada pólo do seccionador. É também capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e, durante os tempos especificados, correntes sob condições anormais, tais como curto-circuito.

A expressão “corrente de intensidade desprezível” significa corrente tais como corrente capacitiva de buchas, barramentos, conexões, cabos muito curtos, correntes de impedâncias equalizadoras permanentemente ligadas ao disjuntor e correntes de transformadores de potencial e divisores de tensão.

Para tensões nominais iguais ou menores que 460 kV, uma corrente não superior a 0,5 A é considerada como “intensidade desprezível” dentro desta definição; para tensões nominais superiores a 460 kV o fabricante deve ser consultado. Para interromper correntes de valor superior à “intensidade desprezível” acima citada, desde que especificado pelo comprador e acordado com o fabricante, pode ser adaptado à chave um dispositivo de extinção de arco.

A expressão “variação não significativa de tensão” refere-se a aplicações tais como: derivação sobre regulador de tensão indutivo ou disjuntor.

2.1.4 CHAVE DE TERRA E CHAVE DE ATERRAMENTO RÁPIDO

A chave de terra é um dispositivo mecânico de manobra destinado a aterrar partes do circuito e capazes de suportar, por tempo especificado, correntes sob condições anormais, tais como curto-circuito, mas não previstas para conduzir correntes sob condições normais do circuito.

Quando a coluna isolante usada como suporte da chave de terra, é a própria coluna isolante do seccionador com o qual ela está associada, usa-se a denominação “lâmina de terra” (estas lâminas de terra além de não serem confiáveis, costumam apresentar problemas, o que levou a Eletrosul decidir não mais utilizá-la, e hoje em todas as chaves seccionadoras da Eletrosul foram retiradas as lâminas de terra).

A chave de aterramento rápido, de operação automática, possui capacidade de estabelecimento nominal de curto-circuito. Normalmente essas chaves são monopolares.

Os seccionadores estão tão aquém da evolução tecnológica que a Eletrosul desmontou todas as suas chaves de aterramento automático, por não confiar nas mesmas. Todas as

manobras que exigem aterramento de um determinado circuito são executadas através de cabo terra manualmente.

2.1.5 PARTES E COMPONENTES DO SECIONADOR

A seguir apresentam-se as partes componentes do seccionador.

a) Circuito principal

Conjunto das partes condutoras da chave, inserido no circuito que a chave tem por função fechar ou abrir.

b) Circuito de comando

Conjunto das partes condutoras, diferente do circuito principal, utilizado para comandar a operação de fechamento e de abertura da chave.

c) Circuito de acionamento

Conjunto das partes condutoras da chave, diferente dos circuitos principal e de comando, com a finalidade de energizar o motor de acionamento mecânico da chave.

d) Circuito auxiliar

Conjunto das partes condutoras da chave, excluindo-se o circuito principal, o circuito de comando e o circuito de acionamento.

Certos circuitos auxiliares satisfazem requisitos suplementares, tais como: sinalização, intertravamento etc, e, dessa forma, podem fazer parte de outros circuitos.

e) Indicador de posição

Dispositivos mecânicos, integrantes de uma chave e que indica, no local, se os contatos principais estão na posição fechada ou na posição aberta.

f) Sinalizador de posição

Dispositivo integrante ou não de uma chave, que atua direta ou indiretamente sobre um dispositivo de sinalização, para indicar se os contatos principais da chave estão na posição fechada ou na posição aberta.

g) Dispositivo de intertravamento

Dispositivo que torna a operação de uma chave dependente da posição ou da operação de outro ou de outros equipamentos.

h) Dispositivo de bloqueio

Dispositivo mecânico que permite o travamento da chave nas posições aberta ou fechada, impedindo uma operação não autorizada.

i) Terminal

Parte condutora da chave, destinada à sua ligação elétrica a um circuito externo.

j) Contato

Conjunto de duas ou mais peças condutoras de uma chave, destinadas a assegurar a continuidade do circuito quando se tocam, e que, devido ao seu movimento relativo durante uma operação, fecham ou abrem esse circuito.

k) Peça de contato

Cada uma das peças condutoras que formam um contato.

Nota: Pode-se dizer simplesmente “contato”, em vez de peça de contato, quando não há possibilidade de confusão.

l) Contato principal

Contato inserido no circuito principal de uma chave e previsto para conduzir, na posição fechada, a corrente desse circuito.

m) Contato de arco

Contato previsto para que o arco nele se estabeleça.

Em certas chaves, os contatos principais servem também como contatos de arco; mas em outras, os contatos de arco são distintos daqueles e são previstos para fechar-se antes e abrir-se depois dos contatos principais e tem por finalidade proteger os contatos principais contra a deterioração por arco, como por exemplo, os chifres.

n) Contato de comando

Contato inserido no circuito de comando da chave.

o) Contato de acionamento

Contato inserido no circuito de acionamento.

p) Contato auxiliar

Contato inserido no circuito auxiliar e operado mecanicamente pela chave.

q) Contato normalmente aberto “NA”

Contato de Comando, acionamento ou auxiliar, que está aberto quando a chave está aberta pode ser de dois tipos:

- Contato tipo “NA-a” - Contato de comando ou auxiliar, normalmente aberto, que se fecha quando se está completando a operação de fechamento da chave.
- Contato tipo “NA-aa” - Contato de comando ou auxiliar, normalmente aberto, que se fecha quando se inicia a operação de fechamento da chave.

r) Contato normalmente fechado “NF”

Contato de comando, acionamento ou auxiliar, que está fechado quando a chave está aberta. Pode ser de dois tipos:

- Contato tipo “NF-b”: contato de comando ou auxiliar, normalmente fechado, que se abre quando se inicia a operação de fechamento da chave.
- Contato tipo “NF-bb”: contato de comando ou auxiliar, normalmente fechado, que se abre quando se está completando a operação de fechamento da chave.

2.1.6 OPERAÇÃO E CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

a) Posição fechada

Posição na qual é assegurada a continuidade predeterminada do circuito principal.

b) Posição aberta

Posição na qual é assegurada a distância de isolamento predeterminada entre os contatos abertos, no circuito principal.

c) Operação

Passagem do(s) contato(s) móvel(eis) de uma determinada posição para posição adjacente.

A operação de uma chave pode ser considerada, ou sob o ponto de vista elétrico (para estabelecer ou interromper corrente), ou sob o ponto de vista mecânico (para fechar ou abrir contatos).

d) Ciclo de operação

Sucessão de operações, passando de uma posição à outra, com retorno à inicial, passando por todas as outras posições, quando existirem.

2.1.7 GRANDEZAS MAIS UTILIZADAS

a) Valor nominal

Valor estabelecido para qualquer das grandezas características que servem para definir as condições de trabalho para as quais a chave foi projetada e construída.

b) Tensão nominal (U_n)

Valor eficaz fase-fase da tensão pela qual a chave é designada e ao qual são referidos outros valores nominais.

A tensão nominal da chave não deve ser inferior à máxima de operação (NBI) do sistema para a qual ela é designada.

c) Corrente nominal (I_n)

Valor eficaz da corrente de regime contínuo que uma chave deve ser capaz de conduzir indefinidamente, sem que a elevação de temperatura das suas diferentes partes exceda os valores especificados nas condições especificadas.

d) Freqüência nominal

Freqüência de serviço para a qual a chave é projetada e à qual são referidos outros valores nominais.

e) Distância de isolamento

Distância entre duas partes condutoras, medida ao longo de um fio esticado segundo o menor trajeto possível entre essas partes condutoras.

f) Distância de isolamento entre pólos

Distância de isolamento entre quaisquer partes energizadas de pólos adjacentes da chave.

g) Distância de isolamento para terra

Distância de isolamento em que uma das partes consideradas está aterrada, ou se destina a ser aterrada.

h) Distância de isolamento entre contatos abertos

Distância total entre os contatos de um pólo, ou quaisquer partes energizadas a eles ligadas, com a chave na posição aberta.

Para determinar a distância total, deve ser considerada a soma delas.

2.1.8 TIPOS DE INSTALAÇÃO

a) Chaves de uso interno

Chave projetada exclusivamente para instalação abrigada de intempéries.

b) Chaves de uso externo

Chave projetada para instalação ao ar livre, isto é, capaz de suportar intempéries e também depósito de poeira e com certo limite, poluição industrial.

2.1.9 CLASSIFICAÇÃO DAS CHAVES

As chaves podem ser classificadas quanto:

- Número de pólos: unipolar, bipolar, tripolar etc.
- Função do circuito: isoladora, de desvio, seletora de barramento e de aterramento.
- Acionamento: manual ou motorizado.
- Forma de operação: direta ou indireta, simultânea ou por pólo.

2.1.10 PRINCIPAIS PARTES CONSTITUINTES DE UM SEZIONADOR

Serão descritas a seguir as partes que compõem um seccionador, considerando os detalhes construtivos de seccionadores tripolares por constituírem a maioria.

Um seccionador tripolar é constituído de:

- Três pólos (circuito principal, terminais, contato, etc. Na Figura 3-1, vemos um pólo de um seccionador).
- Mecanismo de operação.
- Elemento de interligação dos pólos e do mecanismo de operação.
- Acessórios.

a) Pólo

É a parte do seccionador, incluindo o circuito principal, isoladores e a base, associada exclusivamente a um caminho condutor eletricamente separado e excluindo todos os elementos que permitem a operação simultânea. Figura 3-1.



Figura 2-1 – Pólo de um seccionador de 69kV.

b) Base

É construída em aço laminado, galvanizado a quente, com perfis U, I, U dupla, treliça ou tubos de aço de parede reforçada. Uma outra solução ainda não utilizada no Brasil é a de se empregar perfis em liga de alumínio, que dispensam qualquer proteção contra atmosferas agressivas.

Para alguns seccionadores de uso interno e de pequenas dimensões utiliza-se uma única base para três pólos. Os diâmetros dos furos de fixação na estrutura e a distância entre eles estão padronizados na NBR-7571/85.

c) Mancal

Como os seccionadores não são operados freqüentemente e sua velocidade e ângulo de giro são pequenos, não se atribui maior importância ao projeto deste componente. Porém, se forem analisadas suas condições normais de serviço, instalação ao tempo, impossibilidade de desmontagem periódica para manutenção, verifica-se que é um componente de extrema importância para o bom desempenho do seccionador. As especificações para o projeto de um mancal são as seguintes: esferas ou rolos de aço inoxidável, buchas de bronze grafitado ou oleado, ou ainda anéis de plástico especial, de baixo coeficiente de atrito. As esferas, rolos e pistas têm de ser de aço inoxidável, pois caso contrário, será preciso usar um sistema de vedação especial para evitar a oxidação. A caixa do mancal é construída em ferro maleável (ou modular galvanizado), com vedação feita por borracha resistente ao tempo.

d) Sub-bases

Destinam-se a elevar a altura da coluna isolante, equiparando-se com as outras. Além disso, elas têm ainda a função de afastar o pedestal do último isolador de base para que não diminua a distância de arco da coluna isolante. Na primeira condição, a altura da sub-base deve ser igual à da parte inferior do mancal, enquanto que pela segunda, a sua altura deverá ser bem maior, de forma que a tensão de arco da coluna do seccionador se aproxime ao máximo da tensão de arco da coluna ensaiada isoladamente. As sub-bases podem ser usadas em seccionadores de diferentes tensões nominais e o material empregado em sua construção é o ferro maleável, em perfis V ou I, galvanizado.

e) Coluna isolante

As colunas isolantes mantêm a isolação entre a parte viva e a base do seccionador, é portanto parte fundamental na função isolante do seccionador. Elas devem suportar as mais variadas formas de solicitações dielétricas e mecânicas. Em um projeto do seccionador, o correto dimensionamento do isolador é fator preponderante na qualidade do produto final. As colunas isolantes devem atender as seguintes especificações: suportar os esforços dielétricos, os esforços mecânicos e não devem produzir níveis elevados de ruído.

Os esforços mecânicos devido a curto-circuito (que produzem fusão da coluna isolante) são calculados a partir das correntes momentâneas admissíveis e da mínima distância de montagem. O dimensionamento elétrico deverá ser feito com base nos valores fornecidos pelos fabricantes dos isoladores, considerando que a montagem das partes vivas e da base constituem uma modificação muito grande com relação às condições de ensaio das colunas isolantes, pois há uma redução na tensão suportável por um seccionador em relação àquela determinada isoladamente para as colunas. E essa tensão poderá ser aumentada dentro de certos limites pela elevação na altura das colunas, adicionando-se distanciadores.

Atualmente a indústria nacional dispõe de amplos recursos com sofisticada tecnologia para produzir isoladores em porcelana, vidro, resina epóxi ou poliéster.

- Os isoladores de porcelana para uso externo são do tipo pedestal (“cap and pin”), tipo cilíndrico multicorpo, tipo cilíndrico de núcleo sólido e do tipo cilíndrico oco (“hollow type”), sendo a porcelana mais utilizada a fabricada pelo processo úmido. A superfície é vitrificada nas cores marrom ou cinza.
- Os isoladores de vidro são do tipo cilíndrico multicorpo, sendo cada elemento confeccionado de vidro temperado e com formato de “pagodes”.

- Os isoladores de resinas (fibra de vidro aglomerado com resina epóxi ou poliéster) são utilizados somente em chaves para uso interno.

As ferragens de fixação dos isoladores são de ferro fundido modular galvanizado a quente por imersão.

f) Lâmina principal

É feita de tubo ou barra de material altamente condutor (cobre ou alumínio).

A lâmina é uma peça móvel que na posição fechada do seccionador conduz a corrente elétrica de um terminal a outro e na posição aberta assegura uma distância de isolamento.

É a parte mais crítica do seccionador, pois além de reunir alta condutividade e boa rigidez mecânica, a lâmina deve ser, sobretudo, leve o suficiente para permitir a operação de seccionador sem esforço demasiado. Dependendo da forma construtiva do seccionador a lâmina influi consideravelmente na vida útil do equipamento.

Seu dimensionamento é feito com base nas seguintes especificações:

- Aquecimento sob corrente nominal;
- Aquecimento sob corrente de curta duração;
- Níveis de rádio interferência e corona;
- Resistência mecânica aos efeitos dos curtos-circuitos.

g) Suporte dos contatos

São construídos em ligas de cobre ou alumínio e dimensionados de forma tal que resistem aos esforços de operação. Além disso, eles devem ter uma seção suficientemente grande para não se aquecerem com a passagem das correntes nominais e de curto-circuito. As partes deste componente que podem gerar corona e rádio-interferência são os terminais dos conectores e o dimensionamento inadequado do raio de curvatura.

h) Contatos

É o conjunto de duas ou mais peças condutoras de um seccionador, destinadas a assegurar a continuidade do circuito quando se tocam, e que devido ao seu movimento relativo durante uma operação, fecham ou abrem esse circuito.

Num seccionador é comum chamar-se de contato fixo a parte do contato que fica imóvel e rigidamente fixa aos terminais. O contato móvel é a parte que fica comumente nas extremidades da lâmina móvel.

O contato fixo é normalmente feito por peças de cobre eletrolítico, chamados dedos de contato e sobre as quais são soldadas pastilhas de prata ou liga de prata. Os dedos dos contatos podem também ser prateados.

O contato propriamente dito é então feito através das superfícies de prata ou sua liga.

Existem também os contatos prata-cobre e cobre-cobre, este último em chaves de menor capacidade de condução de corrente.

A pressão nos contatos é dada por molas de aço inox, bronze fosforoso ou cobreberílio.

A utilização de um mesmo material nos contatos móvel e fixo pode ocasionar o fenômeno de soldagem de materiais similares submetidos à pressão (“galling”). É por isso que se costuma usar, por exemplo, liga Ag-Cd num dos contatos e liga Ag-Cu no outro contato (fixo e móvel) respectivamente.

Quanto à configuração dos contatos fixos, existem basicamente os seguintes tipos:

- Contato tipo Tulipa, confeccionado em cobre forjado e apresentando alto grau de versatilidade e excelente resposta a esforços dinâmicos e térmicos.
- Contato tipo U invertido, (“Loop” reverso) que aproveita as forças de origem eletrodinâmica para aumentar a pressão dos contatos quando aumenta a intensidade de corrente através do mesmo.
- Contato de alta pressão, de grande robustez, utilizando molas tipo feixe, as quais produzem alta pressão dos contatos.

i) Mecanismo da lâmina

É o conjunto que, recebendo o comando através da coluna isolante rotativa, opera a lâmina dando-lhe os movimentos necessários para cumprir a sua função. Nos seccionadores mais simples a rotação da coluna isolante é transferida simplesmente à lâmina rígida. Em outros, o mecanismo transforma a rotação da coluna isolante em diversos movimentos tais como a rotação da lâmina em torno do próprio eixo e desta em relação ao plano vertical à base no sentido de abrir ou fechar o seccionador.

Em alguns seccionadores costuma-se ter uma mola de contrabalanço para equilibrar a lâmina em todas as suas posições para facilitar a operação. Um outro tipo de mecanismo da lâmina é por intermédio de engrenagem com parafuso sem fim; este tipo é geralmente usado em projetos europeus, pois necessita que a lâmina seja extremamente leve.

j) Lâmina de terra

É uma chave de terra acoplada a um seccionador, serve para aterrar a parte do circuito seccionado e desenergizado, mas que pode estar com carga capacitiva ou ainda ter uma tensão induzida por linhas energizadas próximas ao circuito aberto. A lâmina de terra possui um comando independente ao comando do seccionador, porém ambas devem estar intertravadas mecanicamente para evitar que a lâmina de terra seja fechada quando o seccionador estiver fechado e vice-versa. A lâmina de terra não precisa ter capacidade de condução de uma corrente nominal, mas deve ter capacidade para suportar corrente de curta duração.

k) Terminal

Parte condutora da chave seccionadora, destinada a sua ligação elétrica a um circuito externo.

l) Acessórios

São peças ou conjuntos de peças que não fazem parte integrante do seccionador, mas que podem ser necessários em algumas condições específicas.

- ⇒ Contatos de arco (chifres) convencionais: são utilizados para interromper pequenas correntes como, por exemplo, a corrente de magnetização do transformador, a corrente de uma linha ou barramento em vazio etc. são duas hastes metálicas, uma fixa ao contato fixo e a outra à ponta da lâmina móvel e são instaladas de tal modo que quando a lâmina começa a sair do contato fixo, o caminho da corrente fica estabelecido entre os chifres, evitando que o arco venha a queimar os contatos da chave.
- ⇒ Conectores terminais: são os acessórios que interligam os barramentos ou cabos com os terminais do seccionador.
- ⇒ Resistor de inserção: são diversos resistores montados dentro de uma bucha de porcelana hermeticamente fechada, sendo que a extremidade de cada resistor é ligada a um anel ou a uma pequena esfera. O conjunto é montado junto ao contato fixo de tal modo que quando a lâmina começa a abrir os resistores vão gradativamente se inserindo no circuito e quando todos os resistores estiverem no circuito a corrente estará limitada a um valor mínimo podendo assim ser facilmente interrompida.

- ⇒ Caixa de contatos auxiliares: é geralmente utilizada em seccionador com comando manual, pois esse acessório já é parte integrante no seccionador com comando motorizado, ou seja, os comandos contêm os contatos auxiliares. Geralmente são do tipo abertos ou fechados, podendo também ser ajustado para outra posição. São acionados por eixos giratórios acoplados à haste vertical de acionamento do seccionador.
- ⇒ Intertravamento mecânico: é utilizado somente em seccionadores com lâmina de terra. Ele impede mecanicamente a operação da lâmina de terra quando o seccionador estiver fechado e vice-versa.
- ⇒ Tubo de transmissão: Tubo que está acoplado ao tubo de torque e que permite o movimento do motor para os tubos de acoplamento.
- ⇒ Tubos de acoplamento: Tubos que transmitem os movimentos de giro de uma fase para as demais.
- ⇒ Caixa de engrenagens: Estas caixas têm por função transmitir ou reduzir movimentos e fazer acoplamentos de eixos.
- ⇒ Mecanismo de acionamento (mecanismo de comando). O mecanismo de acionamento pode ser:
- **Manual** – acionamento efetuado exclusivamente por meio de esforço manual aplicada diretamente ao mecanismo de operação da chave, de tal modo que a velocidade e a força dependam da ação do operador.
 - **Elétrico** – acionamento efetuado por meio de energia proveniente de uma fonte de energia elétrica.
 - **Pneumático** – operação efetuada por meio de energia proveniente de uma fonte de sistema de ar comprimido.
 - **Hidráulico** – operação efetuada por meio de energia proveniente de dispositivos hidráulicos.
- ⇒ Mecanismo de acionamento mecânico: fica localizada no interior de um cubículo protegido contra vento, chuva, neve, depósito anormal de poeira, umidade e tem por função movimentar as partes mecânicas do seccionador, quando acionado.

2.1.11 TIPOS CONSTRUTIVOS DE CHAVES

Os diversos tipos de chaves existentes no mercado estão normalizados pela NBR 6935/85 e as normas internacionais, porém serão ilustrados a seguir apenas os principais e acrescidos os demais modelos caso seja de interesse poderemos estudar futuramente..

SECIONADOR DE OPERAÇÃO LATERAL

Chave na qual o contato móvel se desloca num plano paralelo ao plano da base.

SECIONADOR DE OPERAÇÃO VERTICAL

Chave na qual o contato móvel se desloca num plano perpendicular ao plano da base.

a) Secionador de abertura lateral – tipo AL

Secionador de operação lateral constituída por duas colunas isolantes, sendo uma suporte do contato fixo e a outra rotativa, suporte do contato móvel e pela qual se faz a operação do secionador, devendo o terminal da coluna móvel permitir a rotação do mesmo. (Figura 2-2). Por possuir um perfil baixo é utilizado para compor a altura mínima de segurança, no entanto, pode necessitar de maior espaçamento entre fases. São usados como:

- Separador de barras
- Disjuntor de “by-pass”
- Separador de transformador
- Secionamento de barramento
- Separador de linhas

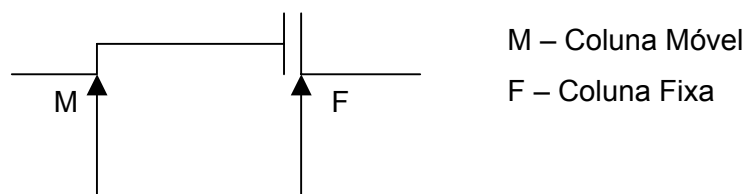


Figura 2-2 – Diagrama simplificado do secionador tipo AL.

b) Secionador de abertura central – tipo AC

Secionador de operação lateral constituído por duas colunas isolantes rotativas suportes dos contatos móveis, cujo acoplamento se realiza no centro, da distância de abertura, devendo os terminais permitir a rotação das colunas. (Figura 2-3). Por possuir um perfil baixo é utilizado para compor altura mínima de segurança, mas quase sempre requer maior espaçamento entre fases. São usados como:

- Separador de disjuntor
- Disjuntor de “by-pass”
- Secionamento de barramento
- Separador de linhas
- Separador de transformador

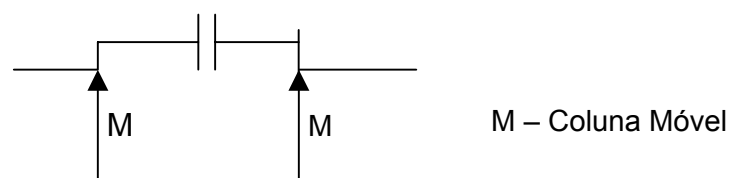


Figura 2-3 – Diagrama simplificado do secionador tipo AC.

c) Secionador de abertura vertical – tipo AV

Secionador de operação vertical constituído por três colunas isolantes, sendo duas fixas, suportes dos contatos fixo e móvel e uma rotativa que aciona o contato móvel. (Figura 2-4).

Na posição aberta o contato (lâmina) encontra-se na posição vertical e quando se fecha passa à posição horizontal.

Utilizada amplamente, permite máxima visibilidade da posição do secionador e pode ser aplicado em espaçamento mínimo entre fases.

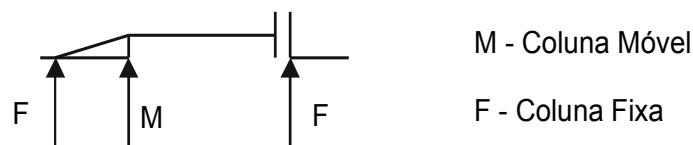


Figura 2-4 – Diagrama simplificado do secionador tipo AV.

d) Secionador pantográfico – tipo PG

Secionador de operação vertical e suportes independentes, constituídos de um contato fixo normalmente montado diretamente sob a linha ou barramento e um contato móvel constituído de elementos articulados formando uma série de paralelogramos (pantográficos suportado por uma coluna isolante fixa normal ao plano da base e acionado por uma coluna rotativa paralela à anterior) (Figura 2-5). Normalmente no secionador pantográfico os pólos são operados individualmente.

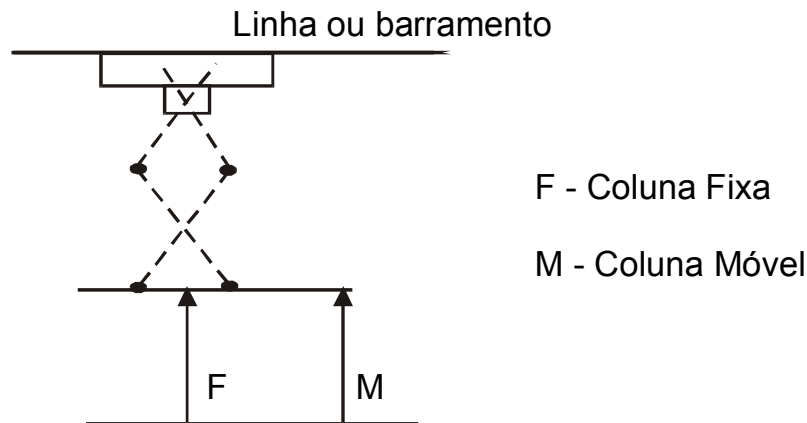


Figura 2-5 – Diagrama simplificado do secionador tipo PG.

e) Secionador semipantográfico – tipos SV E SH

Secionador de operação vertical e suportes independentes, constituídos de um contato fixo normalmente montado diretamente, sob a linha ou barramento, e um contato móvel constituído por dois elementos articulados formando um compasso, suportados por uma coluna isolante fixa, normal ao plano da base e acionado por uma coluna isolante rotativa paralela à anterior.

Normalmente, no secionador semipantográfico, os pólos são operados individualmente.

Normalmente, o secionador semipantográfico, fecha o circuito segundo uma vertical (tipo SV). Pode, eventualmente, ser instalado para fechar o circuito segundo uma linha horizontal paralela ao plano da base (tipo SH). Neste caso, o contato fixo é normalmente montado sobre uma coluna isolante.

A chave tipo SV é ideal para a conexão de barramentos superior e inferior.

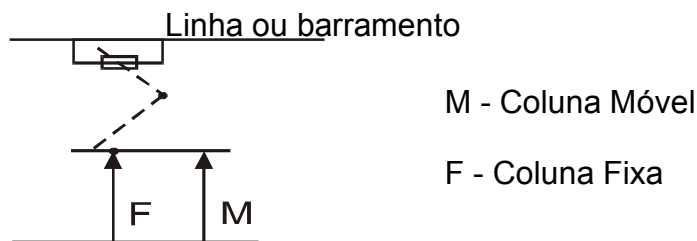


Figura 2-6 – Diagrama simplificado do seccionador tipo SV.

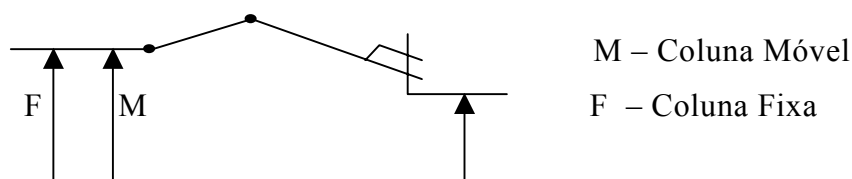


Figura 2-7 – Diagrama simplificado do seccionador tipo SH.

2.1.12 OPERAÇÃO DO SECIONADOR

Para efeito didático o princípio de funcionamento dos seccionadores pode ser considerado único, não obstante características específicas existam entre os diferentes fabricantes.

Desta maneira será apresentado como exemplo o princípio de funcionamento básico do seccionador S&E – Figuras 2-8, 2-9, 2-10, 2-11, e 2-12 a seguir, com objetivo apenas orientativo que, no entanto, poderá ser estendido a todos os seccionadores, observadas as características específicas dos diversos tipos e fabricantes. Também foi escolhido o mecanismo de comando elétrico por ser este o mais usual, e ser o nosso propósito de estudos.

O mecanismo de operação mecânica está normalmente instalado no interior de um cubículo, Figuras 2-8 e 2-11, junto ao qual está também um painel para comando elétrico (Figura 2-19).

O mecanismo é fornecido, geralmente, para operação mecânica com corrente alternada, intertravado com um circuito de corrente contínua. Existem seccionadores cujo mecanismo de operação mecânica é comandado só por corrente contínua.

a) PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Quando é dado um comando de abertura ou fechamento através de uma botoeira, localizada no painel de controle (Figura 2-11 (15)) o motor (Figura 2-10 (1)) é energizado e este começa a girar movimentando o seu eixo. Como o eixo do motor está acoplado a uma caixa de engrenagem (Figura 2-10 (2)) e esta por sua vez a um eixo sem fim (Figura 2-10 (3)), quando o motor gira, o eixo sem fim também gira provocando o movimento de uma cruzeta (Figura 2-10 (4)) localizada entre dois garfos (Figura 2-10 (5)).

Estes garfos são acoplados rigidamente a um eixo de saída (Figura 2-10 (6)) que está interligado com o tubo de torque (Figura 2-9 (7)). Portanto, com o movimento de giro do eixo de saída (Figura 2-10 (6)) que por sua vez transmite este movimento ao tubo de torque (Figura 2-9 (7)) e este ao tubo de transmissão (Figura 2-9 e 2-10 (8)) e finalmente este aos tubos de acoplamentos (Figura 2-10 (9)) os quais fazem girar as colunas giratórias de isoladores (Figura 2-12 (10)) movimentando assim as lâminas (Figura 2-12 (11)), abrindo ou fechando o seccionador, dependendo do comando a ser dado.

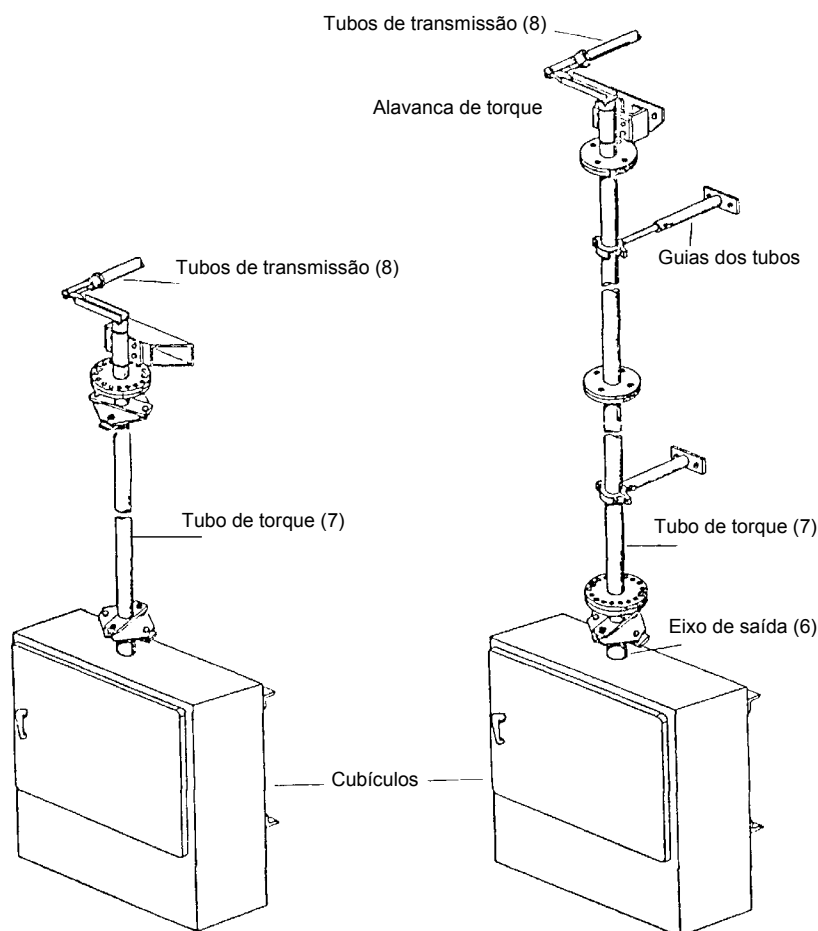


Figura 2-8 – Disposição da Transmissão.

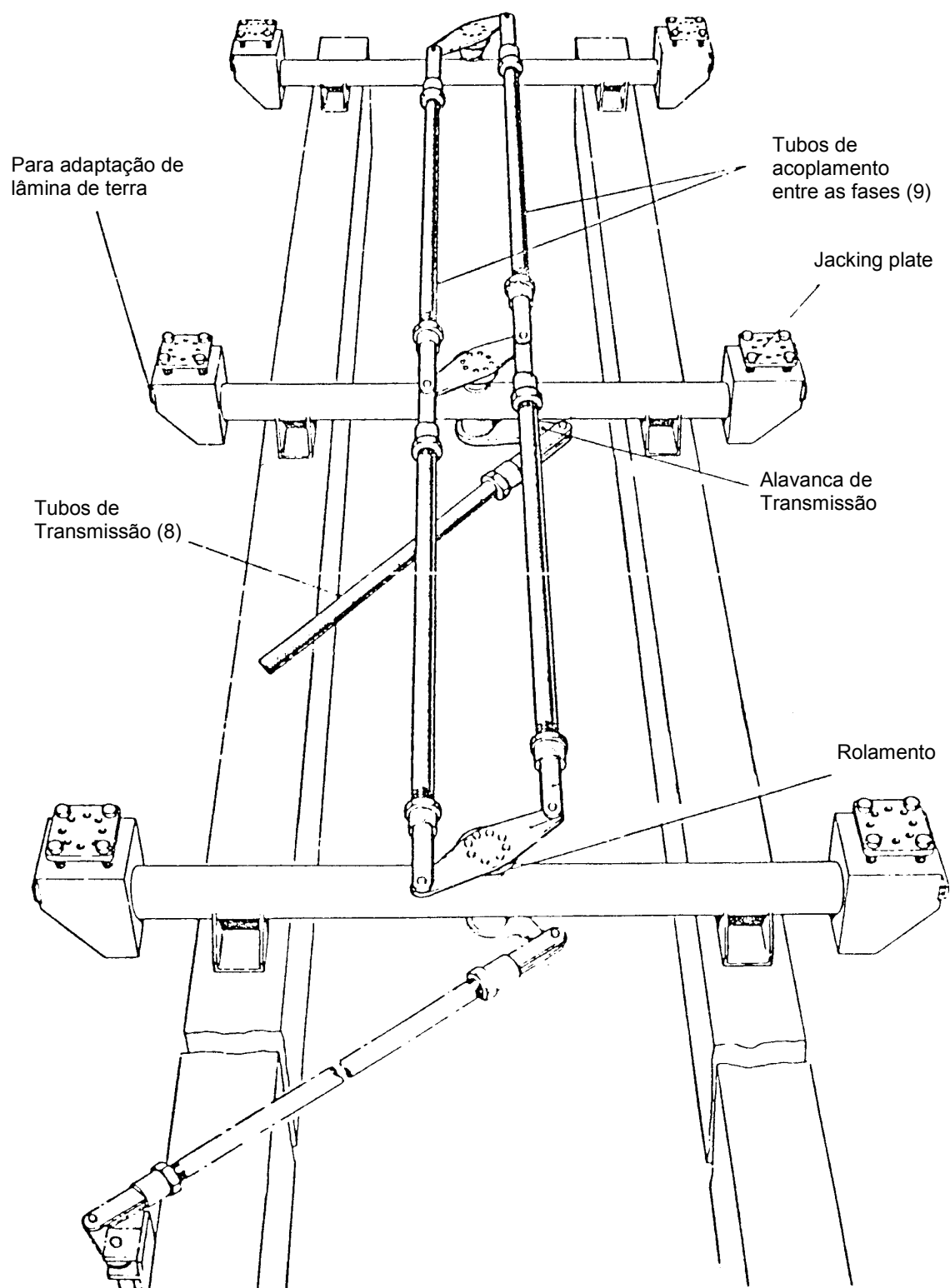


Figura 2-9 – Acoplamento entre Fases.

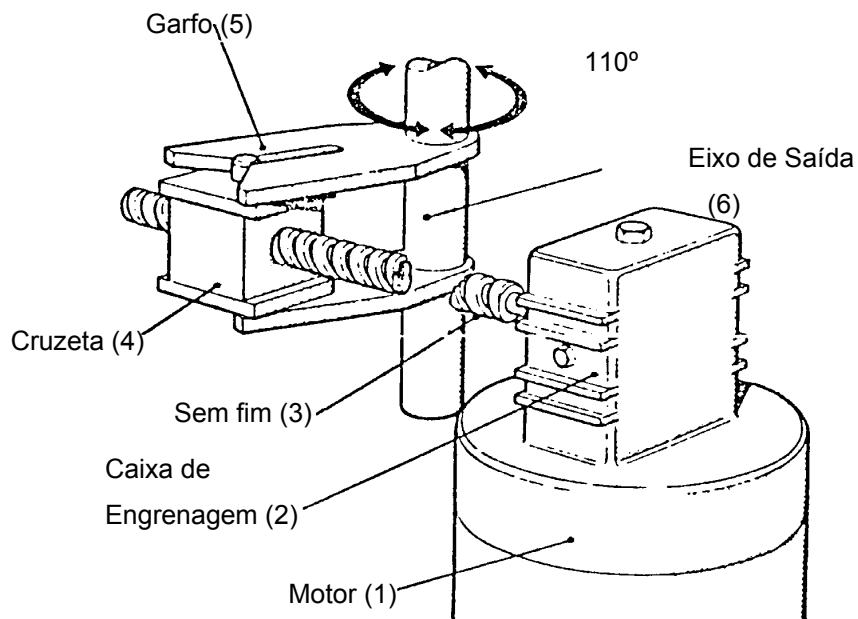


Figura 2-10 – Transmissão de garfo e sem fim.

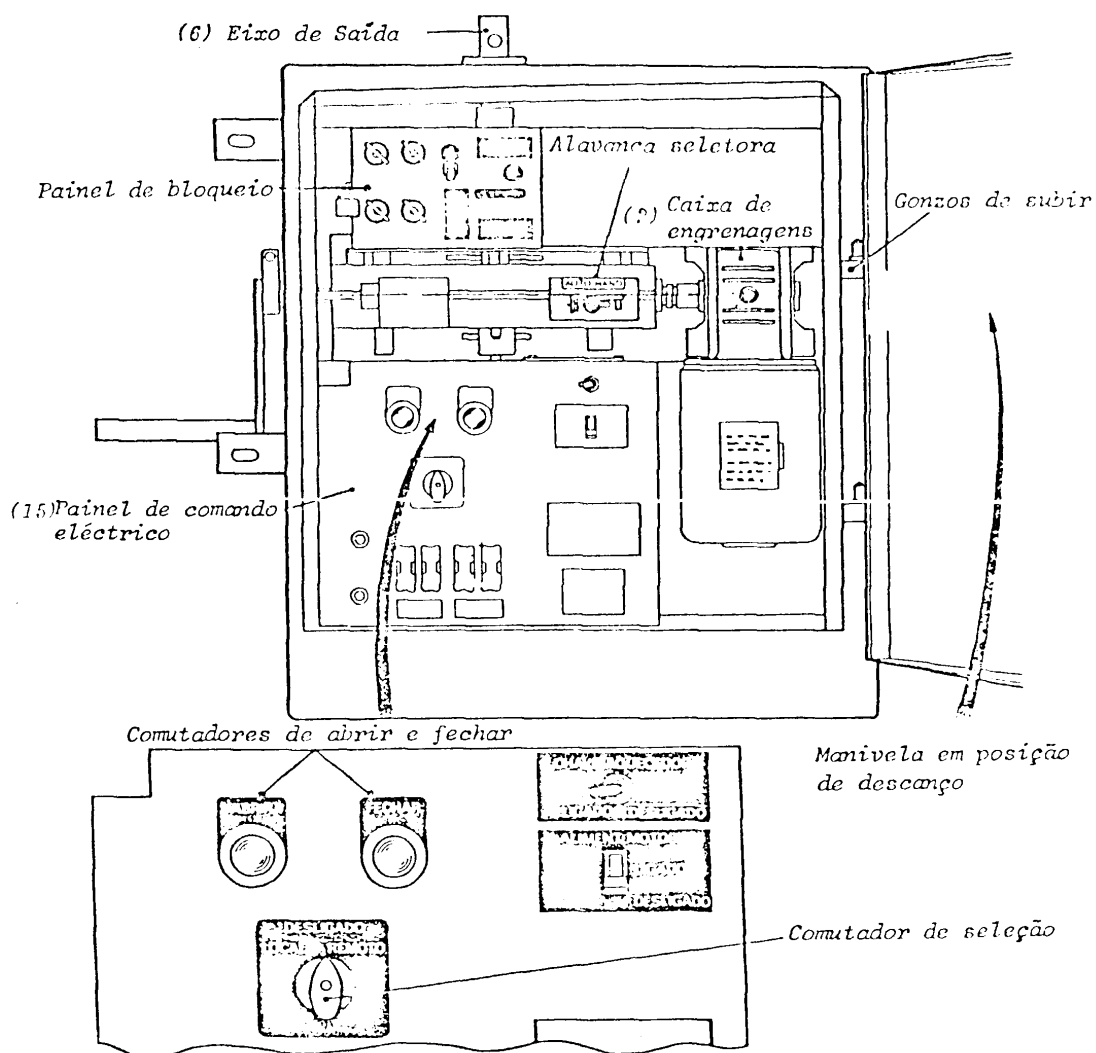


Figura 2-11 – Cubículo ou armário de acionamento e comando (armário de comando).

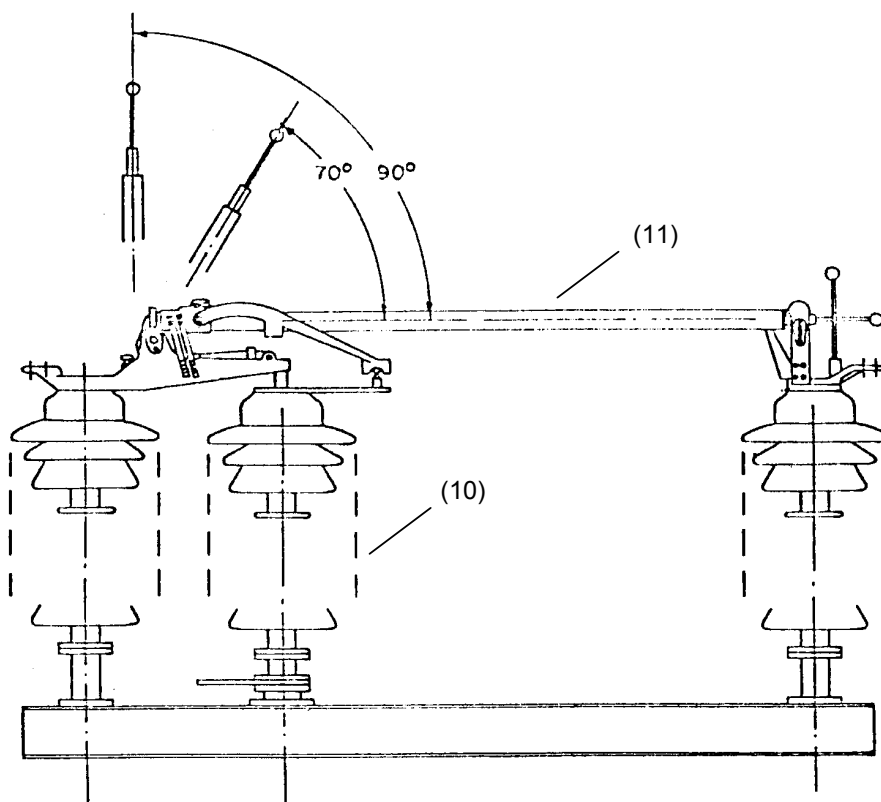


Figura 2-12 – Detalhe da lâmina e coluna giratória.

2.1.13 MANUTENÇÃO DE SECCIONADORES

A manutenção destes equipamentos é feita com a atuação das equipes de manutenção em pontos pré-determinados recomendados pelo fabricante e/ou pelas instruções de manutenção das empresas com o objetivo de dotar os equipamentos de condições de operação adequadas evitando apresentarem problemas.

Também aqui serão dadas orientações genéricas que, no entanto poderão ser aplicadas a qualquer tipo de seccionador.

Durante os estudos, para as particularidades específicas de cada tipo de seccionador, serão consultadas as instruções específicas do tipo do equipamento no Manual de Manutenção ou os manuais do fabricante. Os roteiros de manutenção aqui descritos definem o tipo e o local da intervenção específica para cada modelo de equipamento.

2.1.14 AJUSTES DE SECCIONADORES

Os ajustes de seccionadoras somente são realizados quando se constata que a mesma está desajustada. Os principais pontos de ajustes são:

a) Centralização da coluna giratória

A coluna giratória precisa ser bem centralizada uma vez que gira em torno de seu eixo.

b) Medidas de distâncias entre colunas

Devido aos movimentos de colunas em relação a outras, as distâncias devem ser iguais.

c) Altura das colunas

Devido aos movimentos de colunas em relação a outras, as alturas devem ser iguais.

d) Defasagem tanto no fechamento como na abertura

Quando houver defasagens, o que é comum tanto no fechamento como na abertura, devido a desgastes mecânicos tais como folgas entre engrenagens, eixos, tubos de acoplamentos, estas devem ser corrigidas executando-se os reajustes nos pontos de folga, utilizando-se se necessários, calços nestes pontos ou mesmo a substituição da peça desgastada.

e) Encaixe dos contatos móveis com os fixos desregulados

Os encaixes dos contatos móveis com os fixos também são pontos de maior frequência de manutenção e os desajustes principais são:

- Contato móvel não penetra perfeitamente no contato fixo;
- Superfície de contato do contato móvel fica assimétrica em relação à superfície de contato do contato fixo.

Para ajustes desses pontos normalmente são utilizados os macacos existentes nas bases das colunas isoladoras, inclinando para um lado ou para o outro ou levantando ou abaixando as colunas, dependendo da necessidade, ou então utilizando as folgas existentes nos parafusos de fixação dos contatos fixos. Através de algumas tentativas, se conseguirá um perfeito ajuste dos contatos.

f) Limpezas dos contatos

Nas manutenções dos seccionadores principalmente os contatos principais devem ser inspecionados. Como estes contatos são normalmente de liga de cobre e/ou prata ou somente cobre ou prata, devem ter um tratamento especial evitando serem limados e/ou lixados, fazendo apenas limpeza dos mesmos com solvente e passando uma pequena camada protetora na superfície de contato. Esta camada protetora deve estar definida na instrução de manutenção específica do equipamento.

g) Lubrificação

Como os seccionadores possuem muitas partes que são articuladas e rotativas, estas devem ser lubrificadas de acordo com as graxas, óleos e pastas especificadas pelo fabricante, ou lubrificantes similares, definidos nas instruções específicas do Manual de Manutenção.

Os pontos de lubrificação são indicados pelos fabricantes nos catálogos do próprio equipamento e geralmente estão localizados onde houver acoplamento, transmissão, redução, eixos ou todos os pontos móveis, como por exemplo, transmissão, eixos sem fim, pinhão, coroa, rolamentos, manivelas, bielas, mancais, engrenagens, articulação entre tubo de torque e tubo de transmissão, articulação entre tubo de transmissão e tubos de acoplamentos e dobradiças do cubículo, sendo que todos estes locais permitem condições de serem lubrificados.

h) Segurança

Em qualquer serviço de “manutenção” deve ser seguido o planejamento prévio obrigatório com relação aos aspectos de segurança, baseados nas Instruções Gerais de Segurança do Manual de Manutenção.

2.1.15 ENSAIOS EM SECCIONADORES

O objetivo dos ensaios é demonstrar se os equipamentos estão aptos a atender aos requisitos específicos. Desta forma, o usuário tem uma certa garantia de que os equipamentos deverão operar satisfatoriamente sob as condições reais do sistema.

Os ensaios executados em um seccionador dividem-se em tipo e de rotina.

Ensaio de rotina: são os ensaios que devem ser realizados em todos os equipamentos comprados, ou em determinada amostragem da quantidade total, a fim de se verificar a qualidade e a uniformidade da mão de obra e dos materiais utilizados na fabricação destes equipamentos.

Ensaio de tipo: são os ensaios realizados apenas em um dos equipamentos comprados, ou tipo semelhante ao comprado, a fim de se verificar, se a sua operação é adequada sob as condições normais e anormais de serviço e a sua conformidade com as características especificadas.

a) Ensaio dielétricos

O isolamento externo dos equipamentos apresenta uma suportabilidade dielétrica variável com as condições atmosféricas: chuva, temperatura, pressão, umidade e densidade relativa do ar. Esta variação da suportabilidade tem característica estatística que normalmente é aproximada a uma distribuição normal.

Geralmente a suportabilidade de um “*gap*” em ar aumenta pela elevação da densidade relativa do ar, bem como pela elevação da umidade. Entretanto a suportabilidade de “*gap*” com porcelana torna-se bastante irregular quando a umidade relativa é superior a 80 %. As normas definem condições atmosféricas de referência (condições padronizadas) para a realização destes ensaios. Mesmo sendo os ensaios realizados em condições controladas de laboratório, muitas vezes não é possível atingir as condições padronizadas de norma sendo necessário, portanto, corrigir os valores de tensão nominal do ensaio.

b) Ensaio de rotina

b1. Ensaio de tensão aplicada de frequência industrial, a seco:

Este ensaio é realizado em seccionadores e chave de terra completos (3 pólos) ou em pólos separados. Geralmente o ensaio no seccionador completo é exigido em seccionadores que têm os três pólos montados em uma mesma base, enquanto o ensaio em pólos separados é permitido nos seccionadores em que os pólos não são montados em uma mesma base. Para realização deste ensaio é necessária apenas uma fonte monofásica de corrente alternada.

A tensão de frequência industrial é aplicada ao equipamento, elevando-se o seu valor até atingir a tensão nominal especificada para o equipamento, a qual deverá ser mantida durante o período de 1 minuto. O equipamento passará no ensaio se não apresentar nenhuma

descarga (neste período de tempo) para terra ou entre pólos com a chave fechada, e, para a terra ou entre pólos ou entre terminais com a chave aberta.

b2. *Ensaio de tensão aplicada nos circuitos auxiliares e de controle (1 minuto):*

Deverá ser aplicada uma tensão de 2000V (IEC) durante 1 minuto nos circuitos auxiliares e de controle.

b3. *Ensaio de medição da resistência do circuito principal:*

Este ensaio deve ser feito nas mesmas condições que o ensaio de tipo correspondente (ensaio de elevação de temperatura), e a resistência medida não deve ser superior a 1,2 R_t (R_t = resistência medida no ensaio de tipo).

b4. *Ensaio de funcionamento mecânico:*

Este ensaio tem por objetivo verificar se as lâminas principais e de terra fecham e abrem corretamente quando comandados por seus mecanismos de operação, sem que se verifique nenhuma danificação da chave. O número de operações de abertura e fechamento são:

- 50 operações sob as condições nominais de alimentação do mecanismo de operação.
- 10 operações sob condições de valores mínimos de alimentação.

Durante esses ensaios, nenhum ajuste deve ser efetuado e a operação deve ser realizada sem falhas. As posições de “fechamento” e “abertura” devem ser atingidas durante cada ciclo de operação.

c) Ensaio de tipo

c1. *Tensão de tensão aplicada de frequência industrial:*

O procedimento para este ensaio é semelhante ao procedimento para o ensaio de rotina, exceto que nos ensaios de tipo são introduzidos os ensaios sob chuva e que em alguns dos ensaios são necessárias duas fontes independentes de corrente alternada (e.g. para seccionadores com tensão nominal acima de 300 kV na posição aberta).

c2. *Tensão de tensão suportável de impulso atmosférico:*

Os seccionadores de chaves devem ser submetidos ao ensaio de tensão de impulso atmosférico a seco. O ensaio deve ser realizado com ambas as polaridades positiva e negativa, com impulso de 1,2/50 μ s. São aplicados 15 impulsos consecutivos à tensão suportável nominal para terra e para cada condição de ensaio. A chave é considerada aprovada se o número de descargas disruptivas para a terra ou entre pólos, não exceder a 2 para cada condição de ensaio.

Para chave igual ou superior a 362kV, na posição aberta deve-se aplicar em um dos terminais 15 impulsos consecutivos, de tensão suportável nominal e ao terminal industrial oposto deve ser aplicada uma tensão de frequência industrial de valor $0,7 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} [V]$.

Uma alternativa a este método é o ensaio de tensão crítica disruptiva, V50%.

A tensão suportável (U_W) deve ser determinada a partir dos valores obtidos no ensaio como segue:

$$U_W = V_{50\%} (1 - 1,3\tau) \cong 0,96 \times V_{50\%} \quad \text{Equação 2-1}$$

Onde: toma-se para desvio padrão o valor = 0,03 (Ref [8] tabela 3 pagina70)

c3. *Ensaio de tensão suportável de impulso de manobra:*

As chaves para tensões iguais ou superiores a 362 kV devem ser submetidas ao ensaio de surto de manobra a seco e sob chuva. O ensaio deve ser realizado com ambas as polaridades, positiva e negativa, sob chuva, e com a polaridade positiva a seco para chaves de uso com impulsos de 250/2500 μ s. São aplicados 15 impulsos consecutivos à tensão suportável especificada.

A chave será considerada aprovada se no ensaio a seco o número de descargas não exceder a 2. No ensaio sob chuva, se ocorrerem mais de duas descargas disruptivas sob a isolação o ensaio deverá ser repetido.

Uma alternativa a este ensaio é o ensaio de tensão de descarga disruptiva a 50% sujeito a acordo entre fabricante e comprador.

A tensão suportável é obtida a partir de:

$$V_W = V_{50\%} (1 - 1,3\tau) \cong 0,92 \times V_{50\%} \quad \text{Equação 2-2}$$

Admitindo para desvio padrão o valor de = 0,06 (Ref [8] tabela 4 pagina70)

A tensão suportável estatisticamente determinada acima, não deve ser inferior à tensão suportável de impulso de manobra apropriada.

c4. *Ensaio de elevação de temperatura:*

Este ensaio é executado com a corrente nominal, não devendo haver elevação de temperatura superior aos valores prescritos pela Norma IEC ou ABNT NBR6936/1985

c5. *Ensaio de corrente de curto-circuito:*

Este ensaio deve ser realizado com as correntes de curto-circuito e duração especificados. No caso do laboratório não possuir capacidade suficiente, é possível reduzir a corrente aumentando-se o tempo de duração do curto circuito: $I^2 t = \text{constante}$.

c6. *Ensaio de durabilidade mecânica:*

Este ensaio consiste na realização de 1000 operações de fechamento e abertura sem corrente e sem esforços terminais aplicados na chave. Após a realização do ensaio todas as partes da chave, inclusive os contatos, devem estar em boas condições.

c7. *Ensaio de nível de rádio-interferência (riv) e corona visual:*

O ensaio de RIV consiste na aplicação de uma tensão 10% superior à tensão fase-terra nominal ($1.1.V_n / \sqrt{3}$) e o nível de rádio-interferência não deve exceder 2500 μV .

2.1.16 DEFEITOS MAIS COMUNS EM SECCIONADORES

Ao realizar uma pesquisa no banco de dados da Eletrosul, foi observado que os problemas mais comuns encontrados mostram que na sua maioria são problemas de esforços mecânicos que poderiam ser traduzidos em torque e conseqüentemente em variação de corrente elétrica do motor, e são os seguintes:

a) No armário de comando (Figura 2-13)

- Desajuste dos contatos auxiliares (cames);
- Quebra do eixo dos contatos auxiliares;
- Relê de supervisão de tensão.

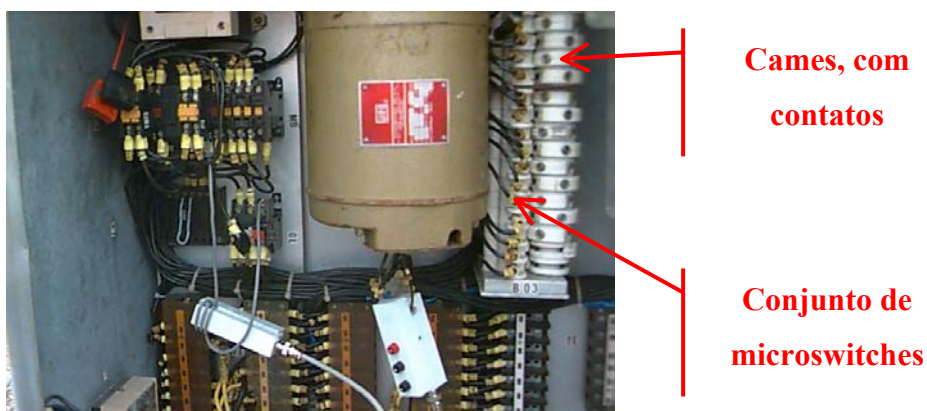


Figura 2-13 – Detalhe do armário de comando.

b) No acionamento (Figura 2-14)

- Quebra do eixo de acionamento (no armário de comando);
- Penetração de água nos mancais.

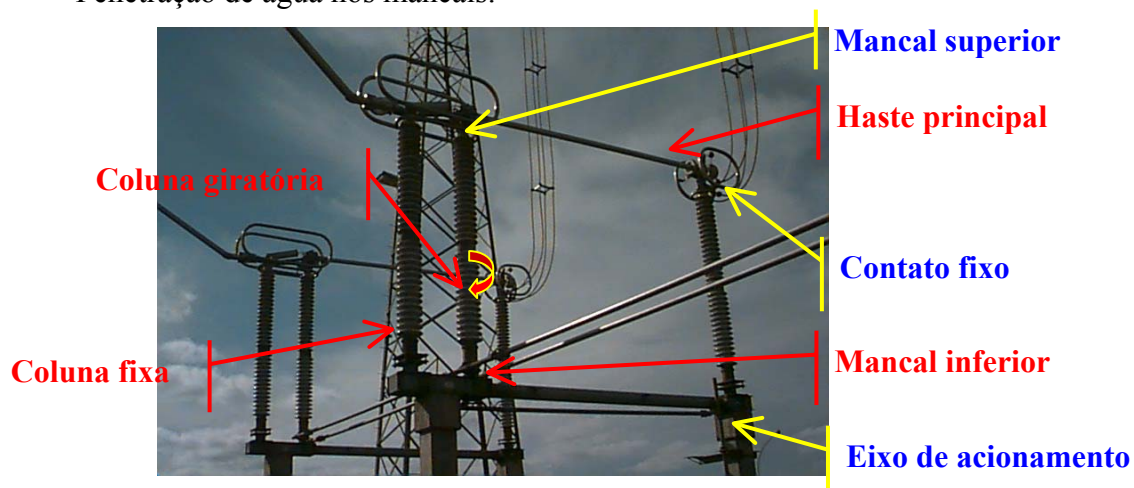


Figura 2-14 – Detalhe das fases B e C de uma seccionadora tipo bengala.

c) **No conjunto mecanismo superior (Figura 2-17)**

- Quebra ou envelhecimento do contrabalanço;
- Quebra ou envelhecimento das molas do contrabalanço;
- Quebra dos capacetes; (Figura 2-15).
- Desnívelamento do garfo; (Figura 2-16).



Figura 2-15 – Garfo e capacete quebrados.

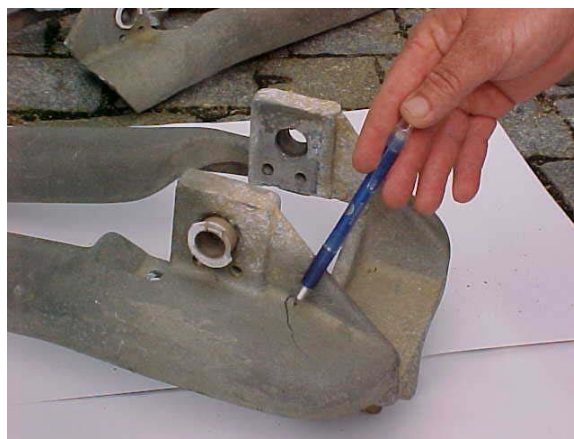


Figura 2-16 – Trinca no garfo.

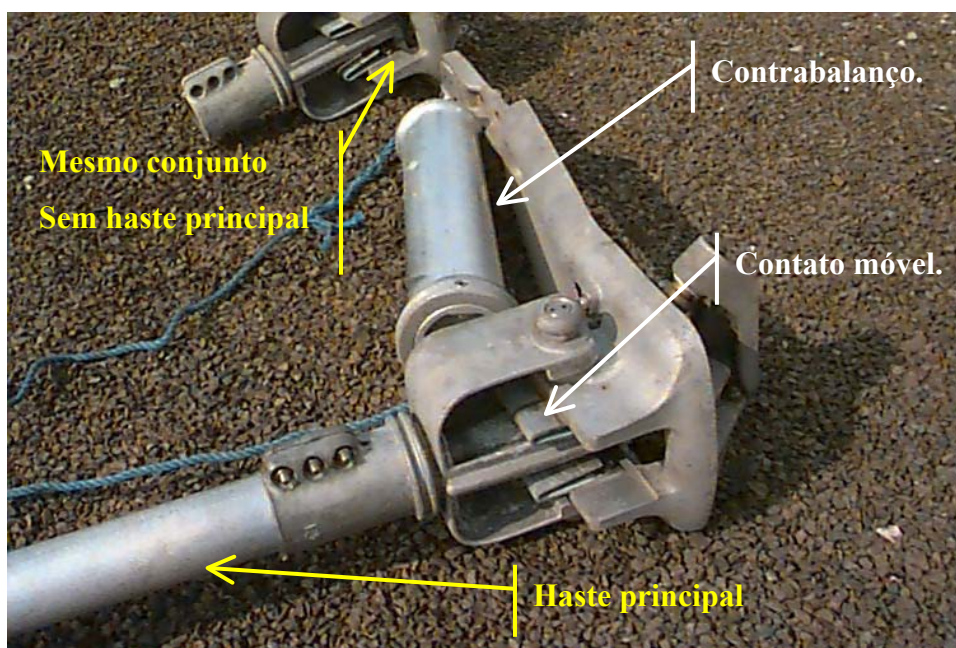


Figura 2-17 – Garfo, capacete e contrabalanços montados.

Outro aspecto importante é que se pode determinar se ao fechar, a seccionadora completou o curso plenamente, ou seja, se cumpriu todos os requisitos para garantir uma boa condução nos contatos agora fechados. Este ponto tem sido um gargalo para o telecontrole e

a automação das subestações (SE's) que necessitam supervisão local. O fechamento incorreto de chaves causa um aquecimento que diminui sua vida útil. Em casos mais graves pode levar ao total derretimento de suas partes condutoras e conseqüente desligamento do sistema. Uma chave seccionadora de subestação pode estar operando em tensões de 500 kV e correntes de 3.000 Amper. A resistência elétrica ideal de fechamento destas chaves gira em torno de $150 \mu\Omega$ o que em si já gera uma potência de até 1,35 KW para uma corrente de 3000 A. No caso de um mau fechamento desta chave a resistência cresce causando aquecimento excessivo nos contactos podendo derreter e destruir a chave. O método convencional de monitorar o fechamento completo da chave é através do seu eixo utilizando excêntricos e microchaves (Figura 2-13). Hoje para que as subestações pudessem ser telecomandadas, utiliza-se um sensor ótico instalado no braço da seccionadora e outro num ponto fixo estratégico, mas que já apresentou alguns problemas tais como a incidência do sol neles que pode atrapalhar sua operação [17].

2.1.17 SECCIONADORES EXISTENTES NA ELETROSUL

A tabela a seguir mostra todos os seccionadores existentes na ELETROSUL, distribuídos pelas diversas regionais. A atualização desta tabela está referida a março de 2001. É importante observar que, devido ao dinamismo das alterações do sistema, estes dados estão em constante atualização.

Tabela 2-1 – Distribuição de seccionadores na Eletrosul.

FABRICANTE DA CHAVE SECCIONADORA	NÍVEL DE TENSÃO		
	500 kV	230Kv	138Kv
AEG-TELEFUNKEN	38	0	0
ALCACE		0	2
ASEA	0	43	16
BROWN BOVERI	0	22	72
BRUSH POWER	0	111	0
CAMARGO CORREA	12	0	
BOVERI	46	19	0
CEME	0	20	18
DELLE ALSTHOM		0	0
GALILEO	0	67	19
GOULD	82	0	0
HARVEY HUBBELL	0	2	11
IAFA	0	150	42
LAELC-INDUCON IND & COM	13	6	0
LINE	0	0	65
LORENZETTI	57	30	87
MARINI & DAMINELLI	0	0	2
SPIG	0	140	9
TOTAL NA ELETROSUL	248	610	343

Aqui se pode fazer uma pequena análise a fim de selecionar em qual tipo de seccionadora deve ser aplicada a metodologia proposta neste trabalho. As chaves seccionadoras de 500kV foram descartadas, pois o sistema da Eletrosul é disjuntor e meio, e neste caso apenas a quebra de uma seccionadora de linha poderia afetar a indisponibilidade da função em questão. Quanto às seccionadoras de 230kV, observam-se três modelos em maior número na Eletrosul: BRUSH POWER, IAFA e SPIG. Destas três, as mais problemáticas no contexto da Eletrosul, são as duas últimas e como a facilidade devido à proximidade das SE's que contêm um maior número de chaves do tipo SPIG, os estudos iniciam pela SPIG.

2.2 MOTORES DE INDUÇÃO

Neste item, serão abordados de forma sucinta, os motores de indução trifásicos com o objetivo de conhecer um pouco mais os mesmos além de mostrar que a relação entre a corrente do estator e o torque do mesmo pode em determinadas situações ser considerada linear, condição importante para implementação da metodologia proposta.

2.2.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

As máquinas elétricas rotativas são constituídas de 2 partes:

- O estator que é a parte fixa;
- O rotor que é a parte móvel.

a) O Estator

Consiste de um núcleo cilíndrico, laminado e ranhurado, que é colocado em uma carcaça em forma de bobinas e estão interligadas de forma a obter a tensão desejada.

b) O Rotor

O rotor do motor de indução pode ser de 2 tipos:

- Rotor em gaiola de esquilo ou rotor em curto.
- Rotor bobinado ou rotor de anéis.

b1. *Rotor em gaiola:*

No rotor em gaiola, os condutores (ou bobinas) são constituídos por barras de cobre ou alumínio colocadas em ranhuras. (Figura 2-18)

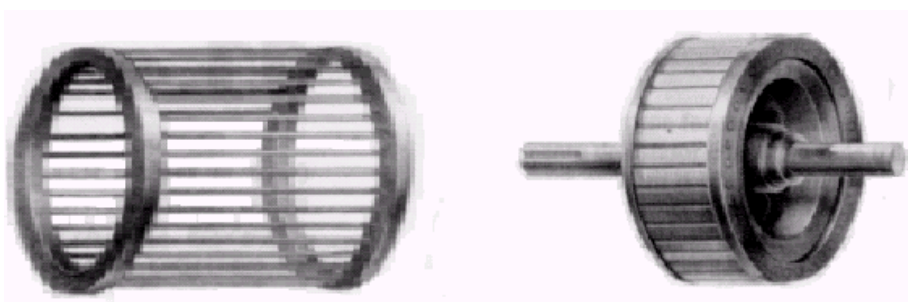


Figura 2-18 – Foto do rotor gaiola.

Nas duas extremidades das barras existem 2 anéis curto-circuitando todas as barras. Esta estrutura é semelhante a uma gaiola de esquilo ("Squirrel Cage").

É o tipo de rotor mais empregado (mais barato e não requer manutenção elétrica), e é o tipo de rotor dos motores estudados nesta dissertação.

b2. Rotor bobinado:

A construção de um rotor bobinado é muito mais cara que um rotor em gaiola, e é executada quando se deseja a variação da torque na partida da máquina, quando o torque de partida é muito grande (detalhado a seguir). Num motor de rotor bobinado é possível controlar-se através da corrente que circula no rotor além da velocidade, o conjugado do mesmo. (Figura 2-19).

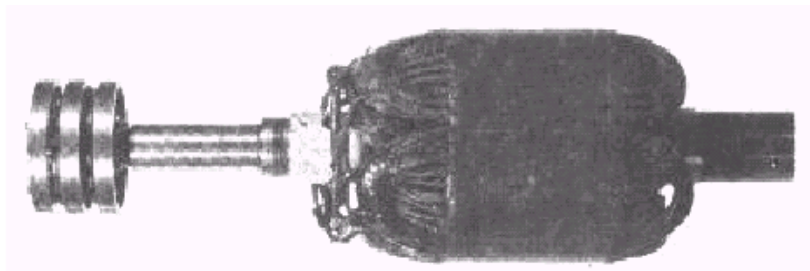


Figura 2-19 – Foto rotor bobinado.

Nesse tipo de rotor as extremidades de cada fase são levados através do eixo a anéis coletores, de modo que, por meio de escovas fixas no estator da máquina, pode-se ter acesso ao circuito elétrico do rotor. Desta forma, pode-se inserir resistências externas em série com o rotor, (Figura 3-20) o que possibilita o controle da velocidade e do conjugado.

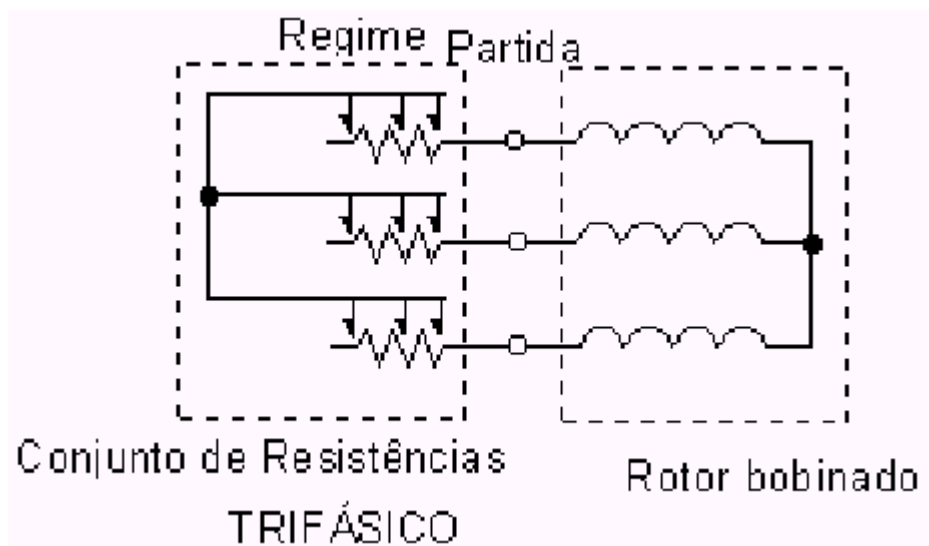
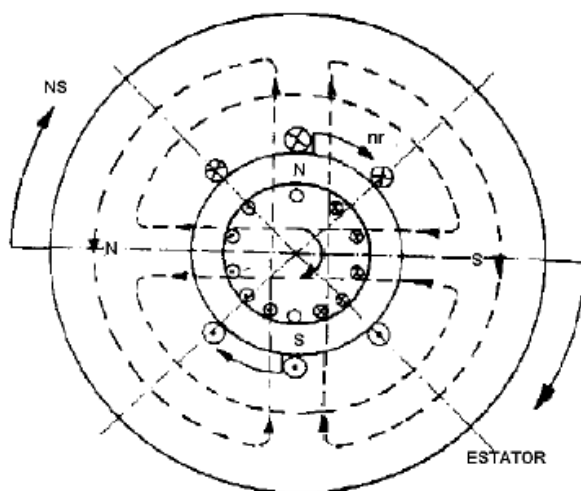


Figura 2-20 – Regime de partida para motores com rotor bobinado com inserção de resistência.

2.2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento do motor de indução baseia-se no princípio da formação de um campo magnético produzido pelos enrolamentos do estator.



n_s = velocidade síncrona do campo

n_r = vel. do campo girante do rotor

motor de 2 pólos

Figura 2-21 – Corte transversal do motor de indução.

O fluxo magnético girante aparece no estator devido às correntes alternadas circulantes nas bobinas do estator (Figura 3-21). Este fluxo magnético do estator se desloca em relação ao rotor, cortando as barras do rotor induzindo tensões (*Lei de Faraday*) que farão circular correntes também alternadas no rotor. Como as correntes do rotor têm

polaridades contrárias às do estator (Lei de Lenz), cria-se também no rotor um campo magnético girante que será atraído e arrastado pelo campo girante do estator.

Desenvolve-se assim um conjugado mecânico no rotor levando o mesmo a girar.

A velocidade do rotor (n_r) é sempre menor que a velocidade do campo girante do estator (n_s), também chamada velocidade síncrona. Se o rotor fosse levado até a velocidade síncrona ($n_r = n_s$), não haveria mais velocidade relativa entre os campos girantes do estator e do rotor e conseqüentemente a tensão induzida cessaria, não haveria mais corrente no rotor, o conjugado mecânico diminuiria e o rotor automaticamente perderia velocidade ($n_r < n_s$), então, novamente o rotor iria adquirir o conjugado.

A operação do motor girando sem carga denomina-se operação em vazio. À medida que se coloca carga no eixo a tendência da velocidade é diminuir para compensar o conjugado resistente da carga. A operação do motor com carga é denominada operação em carga.

A diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade do rotor é chamada de velocidade de escorregamento (ne):

$$ne = n_s - n_r$$

Equação 2-3

onde:

n_s = velocidade síncrona

n_r = velocidade do rotor.

Assim, o escorregamento “S” é definido por:

$$S(\%) = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right) \times 100$$

Equação 2-4

$n_r = n_s (1-S)$ rpm, sendo que “S” para motores de indução de gaiola está entre 2 e 5%. A velocidade síncrona n_s é dada por:

$$n_s = \frac{120f}{p} \text{ rpm}$$

Equação 2-5

onde: f = frequência em hertz

p = número de pólos.

Podemos alterar a velocidade n_s e, conseqüentemente, n_r variando-se o número de pólos p (alterando-se construtivamente as bobinas do estator) ou variando-se a frequência (eletronicamente por inversores), e neste caso independe se o rotor gaiola ou bobinado.

para $f = 60\text{Hz}$, temos:

$$\begin{array}{cccc}
 p \text{ (pólos)} = & 2 & 4 & 6 & 8 \\
 & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 n_s \text{ (rpm)} = & 3600 & 1800 & 1200 & 900
 \end{array}$$

O motor de indução normalmente é empregado onde se desejam uma velocidade constante próxima da velocidade síncrona denominada “ n_s ”.

Quando se deseja um motor de grande porte com velocidade amplamente variável, podemos aplicar as seguintes soluções:

- motor de corrente contínua (metrô, trem, veículos elétricos);
- motor de rotor bobinado (muito pouco usado);
- motor de gaiola acionado através de conversores de frequência (inversores que controlam eletronicamente a tensão e a frequência aplicada ao motor).

2.2.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE INDUÇÃO

a) Conjugado x Velocidade ou $T \times n_r$ (Figura 2-22)

O motor de indução tem um conjugado nulo à velocidade síncrona ($n_r = n_s$), logo $s = 0$ e $T = 0$.

À medida que é aumentada a carga no eixo do motor, a sua velocidade diminui até um ponto onde o conjugado desenvolvido é máximo.

Qualquer acréscimo de carga além desse ponto ($T_{\text{máx}}$ região de operação instável) faz com a velocidade caia bruscamente, podendo em algumas situações travar o rotor.

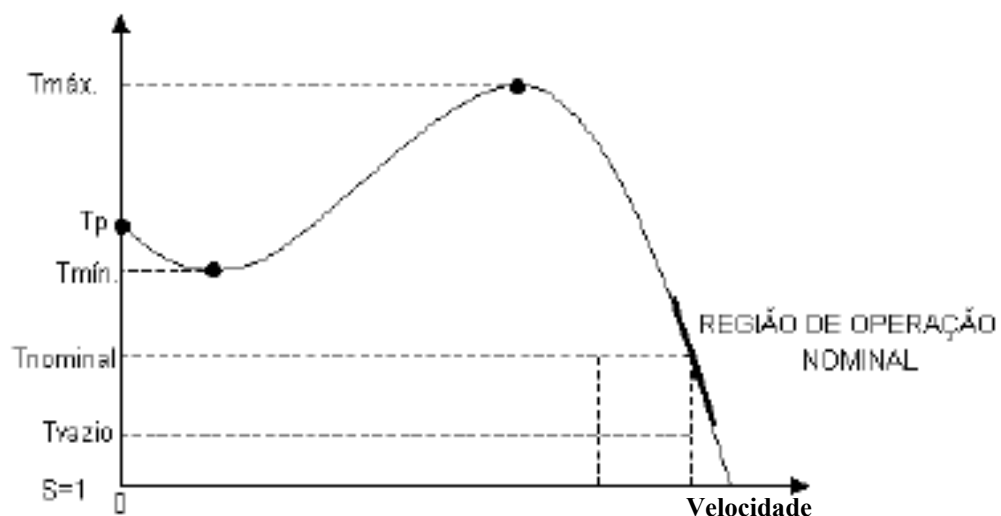


Figura 2-22 – Curva torque x Velocidade.

Sendo:

T_p = conjugado de partida: é o conjugado com o motor travado, ou torque desenvolvido na partida do motor.

$T_{\text{mínimo}}$ = conjugado mínimo: é o menor valor de conjugado obtido desde velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo.

$T_{\text{máximo}}$ = conjugado máximo: é o máximo valor de conjugado que o rotor pode desenvolver sem travar o eixo.

T_{nominal} = conjugado nominal: é o conjugado que o motor fornece com carga nominal no eixo. Normalmente T_{nominal} ocorre com S entre 2 e 5%.

T_{vazio} = conjugado para o motor operando sem carga. Representa o conjugado sem carga no eixo.

b) Categorias

De acordo com as formas construtivas do rotor de motores de indução de gaiola, eles podem apresentar diferentes características de conjugado e corrente de partida conforme os gráficos das Figuras 2-23 e 2-24:

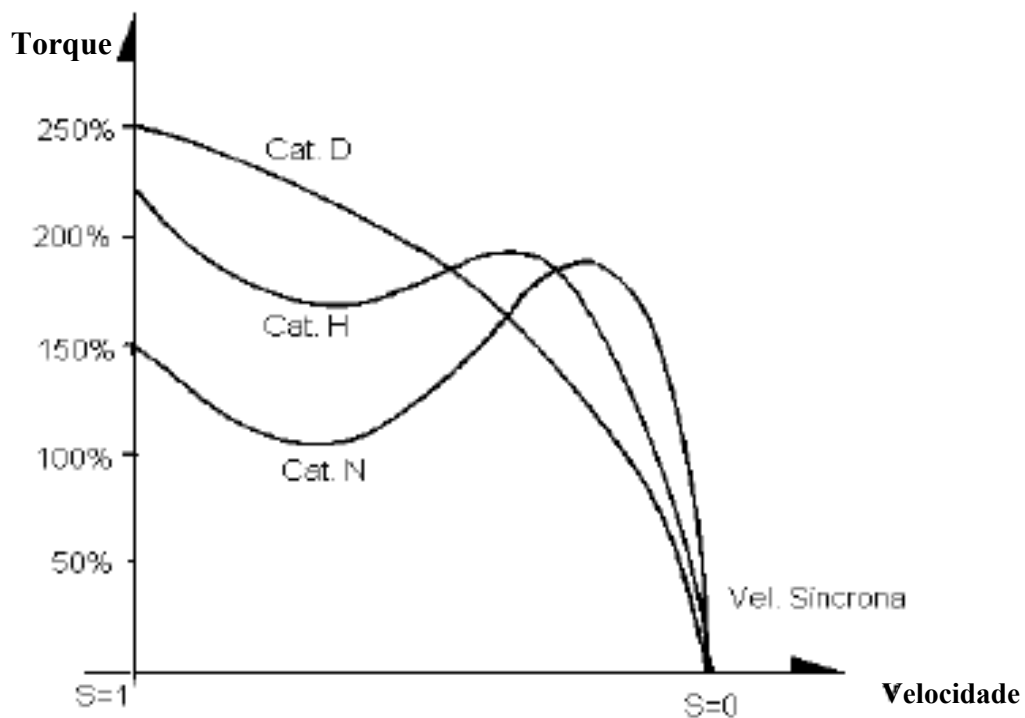


Figura 2-23 – Curvas características do conjugado de motores conforme sua categoria.

- Categoria N: conjugado de partida T_p normal; corrente de partida I_p normal (6 a 7 x $I_{nominal}$); Escorregamento baixo (2% a 5%). Nesta categoria se enquadram a maioria dos motores que acionam cargas normais tais como: bombas centrífugas, máquinas operatrizes. O rotor possui gaiola única.
- Categoria H: conjugado de partida T_p alto; corrente de partida I_p normal; escorregamento baixo. São motores adequados para cargas com elevada inércia, como: peneiras e transportadoras - carregadoras. O rotor é de dupla gaiola.
- Categoria D: T_p alto; I_p normal; escorregamento (maior que 5%), motores para cargas que apresentam picos intermitentes, tais como: prensas excêntricas, tesouras e elevadores.

O motor de rotor bobinado pode apresentar diferentes curvas conjugado x velocidade, de acordo com o valor da resistência externa acrescentada ao rotor.

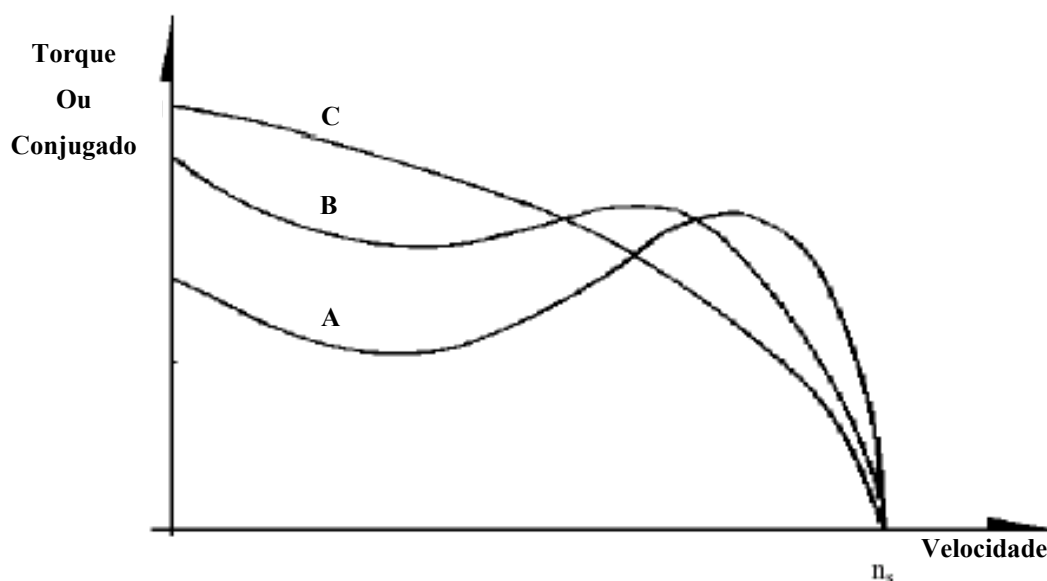


Figura 2-24 – Tipos de curvas de conjugado de motores de indução.

A => Sem resistência externa no rotor (os anéis estão em curto-circuito, sendo o rotor bobinado, então, equivalente ao rotor de gaiola).

B => Com resistência externa no rotor.

C => Com resistência externa no rotor de maior valor. Observa-se maior conjugado para velocidades próximas de zero.

c) Determinação do Tempo de Aceleração (t_a) de um motor em carga

É o tempo que o motor leva para atingir a velocidade nominal, desde o instante em que é acionado. Através desse tempo, pode-se verificar se o motor conseguirá acionar uma determinada carga, sem sobre-aquecimento dos enrolamentos. Com o valor de t_a da Equação 6, pode-se determinar e dimensionar os dispositivos de partida e a proteção do motor.

O tempo de aceleração t_a é calculado por:

$$t_a = \frac{GD^2 \cdot N}{375(C_m - C_s)} \quad [22] \quad \text{Equação 2-6}$$

onde:

t_a => tempo de aceleração em s.

N => variação da rotação do motor.

GD^2 => efeito de inércia. É o produto da massa girante pelo diâmetro de giração ao quadrado (Kg.m²) (Equação 2-7).

C_m => conjugado motriz médio em N.m.

C_s => conjugado médio da carga em N.m.

OBS: $GD^2 = 4 \cdot J_T$

Equação 2-7

J_T => momento de inércia total T com:

$$J_T = J_m + J_c = (\text{Kg.m}^2)$$

onde:

J_T => momento de inércia total.

J_m => momento de inércia do motor.

J_c = momento de inércia da carga.

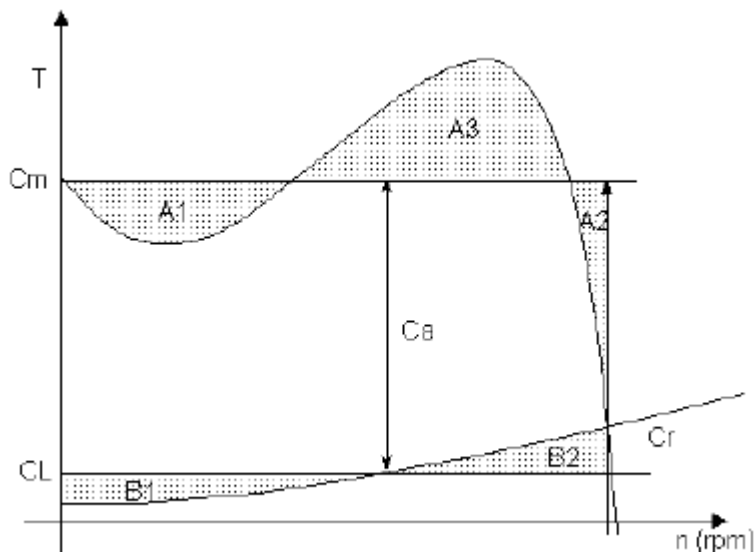


Figura 2-25 – Curva do conjugado do motor comparativa com o torque próprio.

Para o conjugado médio C_m , conforme figura 2-25, temos:

$$A_1 + A_2 = A_3$$

$$C_a = C_m - C_l \text{ (N.m)}$$

Equação 2-8

O momento de inércia rotacional define a resistência de um corpo se opor às variações de velocidade, em relação a um eixo.

Assim, nas partidas com carga de elevada inércia a curva $T \times n$ se mantém, mas o tempo de aceleração aumenta até o motor atingir a velocidade nominal.

Para este caso, se conseguirmos o rendimento do motor, pode-se calcular com certa facilidade o torque no seu eixo a partir da corrente e tensão do mesmo, embora este valor, uma vez que os dados serão comparativos apenas em cada seccionadora, não será levado em conta em primeira instância. Além disto, vale lembrar que cada motor teria um rendimento característico, e teríamos um desgaste muito grande calculando o valor efetivo do torque sem um grande ganho nas análises. Os estudos aqui efetuados têm a finalidade de apenas mostrar que existe uma relação linear entre a corrente do estator do motor e o torque exigido no seu eixo.

Poderíamos afirmar que:

$$T = \frac{P_{elét}}{\eta} \times rpm$$

Equação 2-9

E a partir daí calcular o valor do torque.

2.3 FORMATO COMTRADE

2.3.1 INTRODUÇÃO

Destacamos este formato devido à sua necessidade em nossos trabalhos, pois as ferramentas matemáticas disponíveis na Eletrosul dependem inteiramente deste. Uma das ferramentas comentadas a posteriori, é o SISREP (Sistema de Registro e análise de Perturbações) [9] que é um software de análise gráfica de dados que foi desenvolvido a princípio para monitorar condições de faltas / perturbações de instalações de geração (usinas) e transmissão / distribuição (subestações) de energia elétrica, através da aquisição de dados em tempo real e que utiliza os dados em formato COMTRADE, que é um padrão de formato de dados IEEE.

Uma boa compreensão do padrão COMTRADE permitirá que o usuário crie facilmente um arquivo novo, ou modifique um arquivo existente, para análises dos dados, o que foi o caso neste trabalho. A padronização deste formato traria como grande vantagem a unificação dos softwares.

A intenção desta revisão bibliográfica é explicar a estrutura básica de arquivos no formato COMTRADE e familiarizar o leitor com “como editar” ou “criar” arquivos no formato COMTRADE. Estaremos falando de dados usados em perturbações no sistema de potência, pois este formato foi inicialmente criado para este fim. Porém com o passar dos tempos, verificou-se que também para análises de outros tipos de eventos, este formato tem grandes utilidades, como será o caso em análises das variações das correntes elétricas dos motores de acionamento das chaves seccionadoras.

2.3.2 DADOS GERAIS

O usuário instala um coletor de dados digital para capturar eventos do sistema de potência quando ocorrem. Os dados coletados são usados então na análise destes eventos. Em consequência da análise, o usuário pode fazer todos os ajustes necessários nos relés, em disjuntores, nos transformadores, etc. Os dados coletados podem também ser usados para a análise do desempenho de esquemas de proteção.

No passado, o equipamento e a programação de testes necessários eram de domínio do fabricante, e eram de alto custo. O usuário necessitava pedir ao fabricante para executar

os testes. Dois fatores inibiam o usuário de executar os testes. Primeiramente, o equipamento de simulação disponível era complicado e seu custo excessivamente alto aos usuários. O segundo fator era a falta de um formato padrão para a análise dos mesmos. O COMTRADE é um padrão normalizado pela IEEE [10] existente e os instrumentos digitais modernos de teste tornaram-se mais acessíveis. Estes fatos fornecem aos usuários meios e condições suficientes de executar e analisar os testes. Com um formato de dados padrão e instrumentos modernos de teste, o usuário pode agora testar o esquema completo da proteção com o banco de dados de eventos reais do sistema de potência, bem como divulgar e efetuar comparações com outros sistemas.

2.3.3 APLICAÇÕES

Os dados coletados são usados normalmente para pesquisa de defeitos após uma ocorrência. O COMTRADE normalmente é utilizado em testes para:

- Avaliar o desempenho do esquema, ou como um teste da aplicação, para verificar o desempenho do esquema da proteção sob circunstâncias previstas.
- Analisar desempenho do esquema da proteção durante um distúrbio do sistema de potência.
- Avaliar várias opções do esquema da proteção para selecionar o esquema apropriado para a aplicação pretendida.

Os arquivos de dados de COMTRADE ajudam ao usuário executar os testes de transiente. CDD's (Centrais de Detecção de Defeitos) modernos e a proteção digital podem gravar eventos do sistema de potência em um formato de dados e depois estes dados podem ser convertidos em COMTRADE. É também possível criar (converter e exportar) arquivos de dados tipo COMTRADE dos resultados dos programas de simulação digital de transitórios eletromagnéticos. O formato COMTRADE é uma coleção de dados em torno de um ponto do evento, gravada em intervalos regulares do tempo, para definir as características de valores tais como tensão, a corrente e o status dos canais digitais antes, durante e após um evento. Estes dados podem ser adquiridos e armazenados através dos instrumentos digitais de teste, e manipulados através de um computador IBM PC compatível, para então reproduzir fielmente os dados coletados ou gerados, ponto a ponto.

Na Norma IEEE C37.111-1991 [10], a definição de formato COMTRADE é: *“This is a common format for the data files and exchange medium needed for the interchange of various types of fault, test, or simulation data.”*

2.3.4 PADRÃO COMTRADE

O padrão define um formato compatível com o arquivo do sistema DOS do IBM-PC para armazenar formas de ondas, eventos lógicos e dados descritivos. O conjunto de arquivos no formato COMTRADE para um dado evento consiste de três arquivos com as seguintes extensões:

- Arquivo tipo DAT; arquivo de dados.
- Arquivo tipo CFG; arquivo da configuração.
- Arquivo tipo HDR (opcional); arquivo de encabeçamento.

O arquivo tipo DAT é o arquivo de dados que contem as amostras reais dos dados do evento gravado ou simulado. Estas são as amostras digitais coletadas dos valores instantâneos dos canais analógicos e digitais em intervalos de tempos constantes. Os valores analógicos são geralmente tensões e correntes, e os valores digitais são tipicamente o status de contatos de relés de proteção, disjuntores e equipamentos de manobra de subestações. Os valores digitais têm somente dois estados: ativo ou inativo, onde cada um é representado por "1" (ativo) ou por "0" (inativo).

A estrutura dos arquivos de dados tipo DAT é constituído por uma série de linhas e colunas, similar a uma planilha eletrônica. Cada linha representa uma amostra num intervalo de tempo fixo. O número de colunas no arquivo de dados depende do número de canais analógicos e digitais incluídos na gravação. O número de linhas depende da taxa da amostragem e o tamanho do registro. Se todos os valores dos dados não couberem na mesma linha, eles são contínuos sem retorno de linha. O último valor no registro é finalizado com um retorno de linha.

Cada linha contém uma coluna separada para o número da amostra, outra para o tempo de início dos registros em microssegundos, e uma coluna para cada canal digital e analógico. Por exemplo, uma linha com seis canais analógicos e um canal digital terá nove colunas. As linhas seqüenciais da amostra são separadas por caracteres do tipo nova linha. Uma amostra de dados do ASCII é mostrada na Figura 3-26.

O arquivo tipo CFG age como um guia da tradução para os arquivos de dados. Ele contém a informação necessária para representar um evento do sistema de potência. O arquivo tipo CFG tem a seguinte informação:

- Nome e identificação da estação.
- Número total de canais analógicos.
- Número total de canais digitais.
- Dados para cada canal analógico em uma linha separada.
- Dados para cada canal digital em uma linha separada.
- Frequência da linha.
- Taxa da amostra e número das amostras.
- Data e hora do primeiro ponto de dados.
- Data e hora para o ponto do disparador.
- Tipo do arquivo de dados (ASCII ou binário).

Um arquivo típico de configuração é mostrado na Figura 3-27.

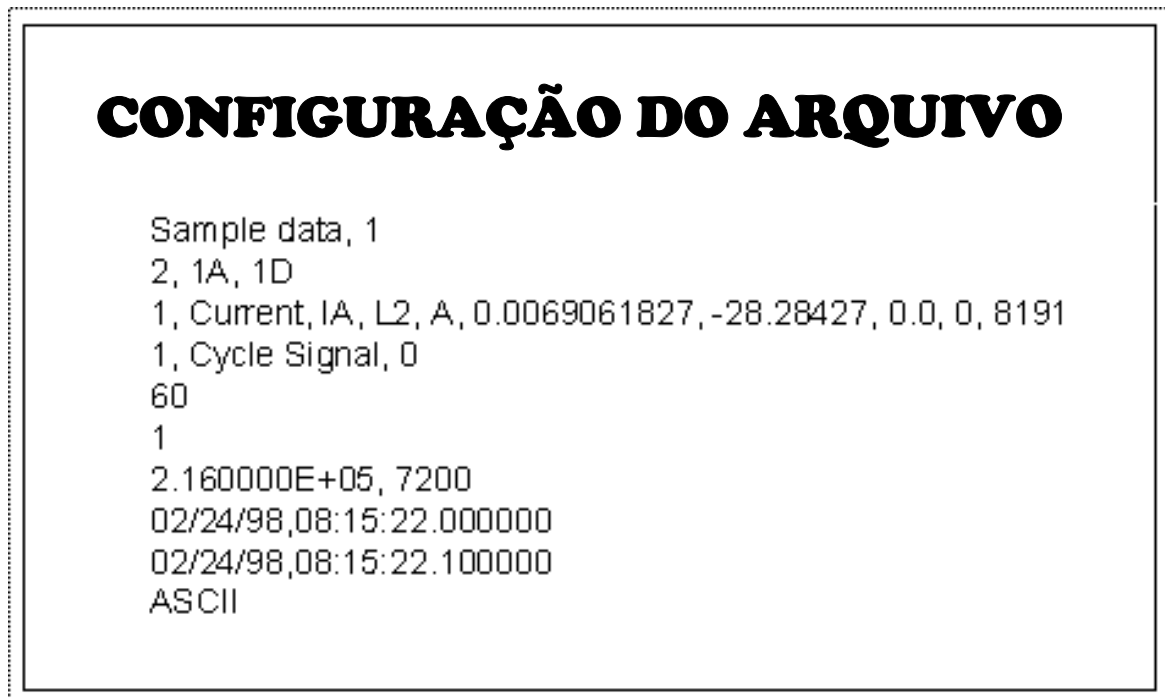


Figura 2-27 – Configuração do arquivo tipo CFG do COMTRADE.

Os dados dos canais analógicos contêm a informação a respeito do escalonamento dos dados analógicos. Para cada canal analógico, os detalhes contêm a seguinte informação:

- Número de canais
- Nome dos canais
- Fase
- Circuito
- Unidades
- Escala (fator "a")
- Offset (fator "b")
- Ângulo (defasamento)
- Valor mínimo dos dados para o canal
- Valor máximo dos dados para o canal.
- < CR/LF >

Os dados típicos para o canal analógico são mostrados na Figura 3-28:

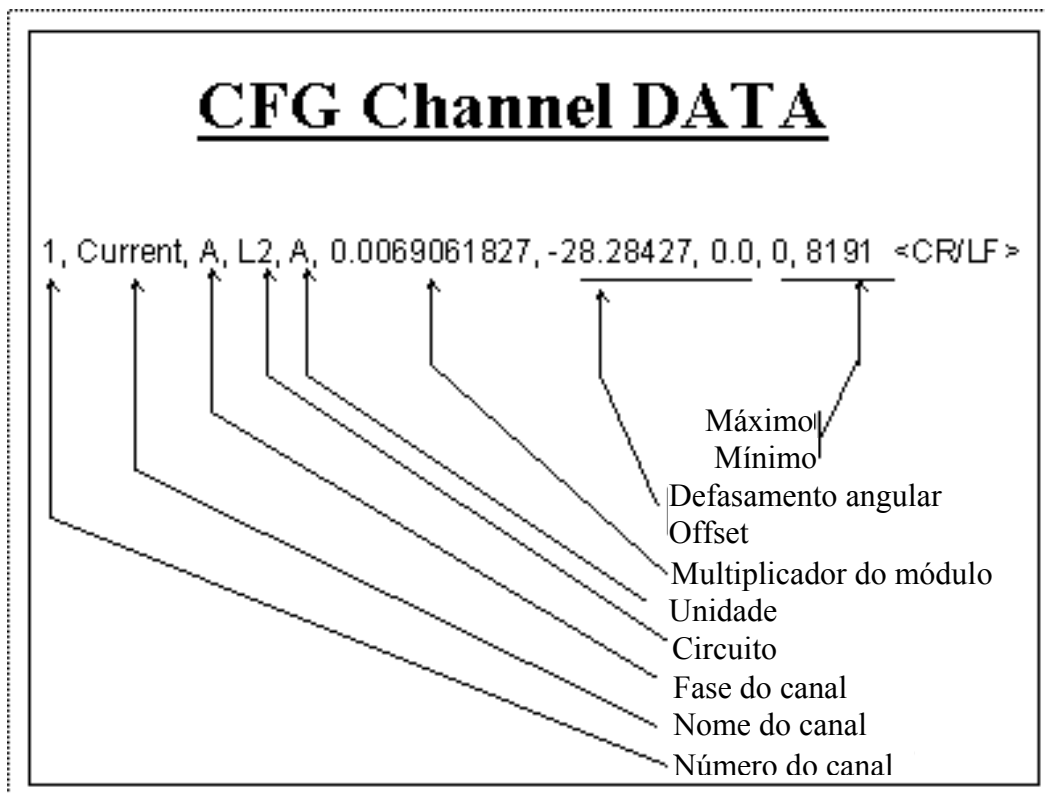


Figura 2-28 – Exemplo do arquivo tipo CFG do COMTRADE.

Os arquivos de dados e os arquivos de configuração são arquivos imperativos. O arquivo tipo HDR é opcional. O arquivo de encabeçamento é um arquivo tipo texto que contém a informação no evento que é gravado no arquivo tipo DAT. Pode conter a informação tal como condições do sistema de potência antes do distúrbio, da estação, da linha, da fonte dos dados, dos detalhes do transformador, do tamanho requerido para o registro, etc.

2.3.5 CONCLUSÃO

O COMTRADE oferece uma gama muito grande de possibilidades, pois como pode-se observar, apenas editando o arquivo tipo CFG, podemos alterar os dados conforme as necessidades sem mexer nos dados originais que estão gravados no arquivo tipo DAT. Portanto, no nosso entender todos os dados digitais coletados em sistemas de potência poderiam utilizar este formato, pois este já é um formato normalizado em normas internacionais, além de que como já mencionados na introdução, este traz como grande vantagem a unificação de softwares, o que para o usuário é algo de grande valia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nos capítulos anteriores, pudemos conhecer as chaves seccionadoras, o princípio de funcionamento das mesmas, motores elétricos bem como a relação entre a corrente e o torque fornecido pelo mesmo, além da formatação de dados especial chamada COMTRADE. Estes detalhamentos são importantes para o bom entendimento deste capítulo e do motivo das análises efetuadas.

Existem várias técnicas que poderiam ser utilizadas para as análises, mas neste trabalho, comentam-se apenas duas; na primeira, a que será a utilizada aqui, coleta-se a corrente elétrica do motor e traça-se um gráfico do seu valor eficaz versus o tempo. Este por sua vez se tornará um padrão para as demais verificações (assinatura). Quando o valor da corrente tiver variações representativas em relação à curva original, supõe-se de possíveis pontos de agarramento com tendências de desajustes e sinalizando ocorrência de defeito. O acompanhamento desta variação é que vai demonstrar a mudança de comportamento da chave seccionadora e dar ao técnico de manutenção condições de determinar quando esta deverá passar por uma manutenção. Neste caso, cada seccionadora terá a sua assinatura específica, muito embora temos observado que equipamentos similares têm apresentado curvas parecidas, ou seja, para cada conjunto de chaves de mesmo modelo e fabricante, poder-se-á considerar uma curva padrão.

Um outro fator que poderia causar a variação da corrente neste sistema, seria uma queda de tensão, e uma queda na corrente. Todavia, a queda da corrente reduz o torque, que, por sua vez, aumenta o escorregamento. Em consequência disso as correntes do secundário (considerando rotor gaiola) aumentarão pela maior capacidade indutiva causada pelo maior escorregamento. Finalmente, a corrente secundária reflete-se no primário aumentando a corrente drenada da rede; um exemplo prático para observação é quando se deveria ligar um motor em delta, porém se liga em estrela. O motor irá aquecer muito quando assumir uma carga, pois, apesar de a corrente com o motor em vazio ser mais baixa, quando o mesmo é submetido à carga ocorre o descrito na sentença anterior. Pode ocorrer que a corrente medida seja um pouco diferente da nominal, só que a corrente observada na linha está em apenas uma bobina e não em duas como na ligação delta. Este é um exemplo de grande redução da tensão, mas que serve para ilustrar outras situações. Em geral, pequenas reduções de tensão em acionamentos convencionais não apresentam grandes problemas práticos, e como este é o caso, pequenas variações de tensão provocam muito pouca distorção na

corrente [11] e mesmo que provocasse, esta poderia ser considerada linear, e para efeito de análises, não teríamos grandes interferências.

Na segunda técnica, faz-se uma análise de frequência da corrente do motor de um dispositivo funcionando perfeitamente, com isto tem-se um padrão, depois é só comparar o espectro de frequências de um determinado dispositivo com este padrão. Este segundo método, já é utilizado [12] e [13] para verificação de defeitos no motor, pois no caso do motor, o defeito seria repetitivo, provocando assim um conjunto de pulsos numa determinada frequência fixa, aumentando assim conteúdo espectral nestas frequências. Nesta segunda técnica, nossa resposta talvez seja um pouco mais investigativa, pois o equipamento em estudo não apresenta movimentos repetitivos no seu todo, embora algumas partes tais como cremalheiras e outras engrenagens possam ser verificadas neste caso. Podemos observar que já existe uma patente americana [12], que trata este assunto para uma válvula de gaveta.

Para coletar os dados a serem analisados, tornou-se necessário buscar um sistema eletrônico de coleta. O sistema necessitava de determinada precisão, pois face à grande redução existente entre o motor da seccionadora e o seu mecanismo, as variações de corrente relativas às variações de torque são pequenas, além do que o ambiente de trabalho é muito ruidoso (interferências de 60Hz e harmônicos). Nos primeiros estudos, foi utilizado um equipamento da Eletrosul, fabricado pela YOKE, mas de altíssimo custo (em torno de R\$300.000,00). Devido a este elevado custo, decidiu-se por desenvolver algo que fosse específico para o caso, o que trouxe uma grande vantagem, primeira quanto ao custo e depois porque foi possível projetá-lo de acordo com as necessidades específicas do projeto.

Não foi surpresa ao pesquisar dados, observar que a ALSTOM está desenvolvendo uma sistemática de análise semelhante com a aqui apresentada, e que também teve a necessidade de desenvolver um coletor deste modelo específico para tal, o qual eles chamam de “*New Control System Technology*” [14]. Eles começaram realizando a análise do estado de comutadores de taps de transformadores pela análise da potência do motor (aqui está a diferença da técnica proposta, pois nesta dissertação foi entendido que as variações de tensão não são tão influentes nesta análise além de que estaríamos correndo o risco de inserir mais interferências e mais custo). A Figura 4-1, mostra a sistemática utilizada pela ALSTOM.

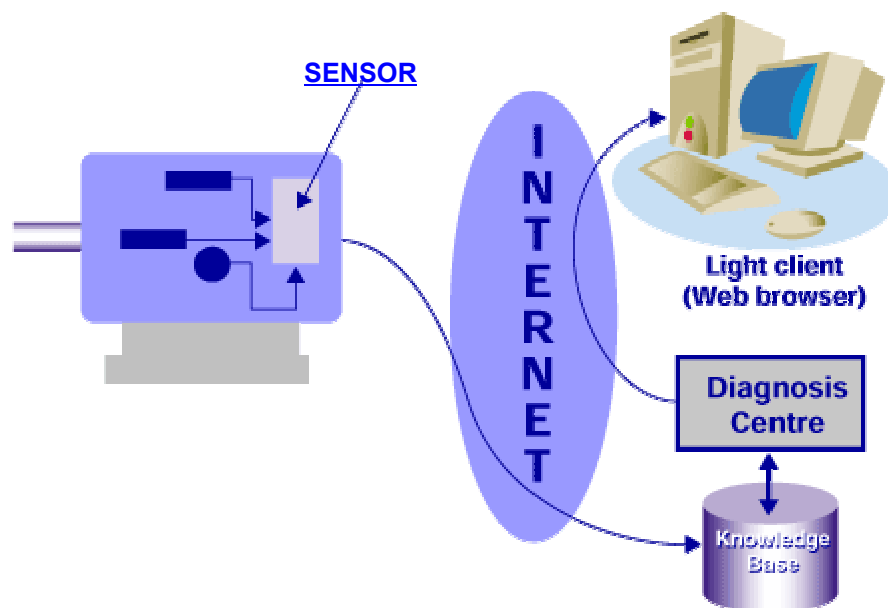


Figura 3-1 – Processo de alta tecnologia em estudos pela ALSTOM.

Este sistema da ALSTOM utiliza a medida da potência consumida, mas para defeitos instantâneos, temos dúvidas sobre a realidade, pois quando se tem um travamento mecânico do motor elétrico, este aumenta sua corrente elétrica, podendo promover uma queda de tensão no sistema, como é o caso citado no item 3.4.2.d, e neste caso a variação de potência seria de certa forma muito pequena, o que poderia ser disfarçada nos levando a pensar que fosse um simples peso mecânico característico daquele equipamento naquele ponto. Entretanto com a análise da corrente do motor, consegue-se observar o fato real com precisão.

Outro ponto questionável é que o sistema da ALSTOM usa coletas com tempos de 50ms, já no sistema desenvolvido, a frequência de amostragem é de 2000Hz, ou seja, 0,5ms. Neste caso, a frequência escolhida permite observar com precisão qualquer variação brusca de corrente, dando condições de se analisar os fatos como tem sido observado nos testes realizados.

Na Figura 4-2 é apresentado um diagrama de blocos detalhando o sistema proposto para coleta e análise das correntes de acionamento do motor de uma chave seccionadora, detalhando a seguir suas características e motivos.

Passa-se a seguir no próximo item a tratar da metodologia aplicada bem como dos desenvolvimentos que foram necessários durante os estudos.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

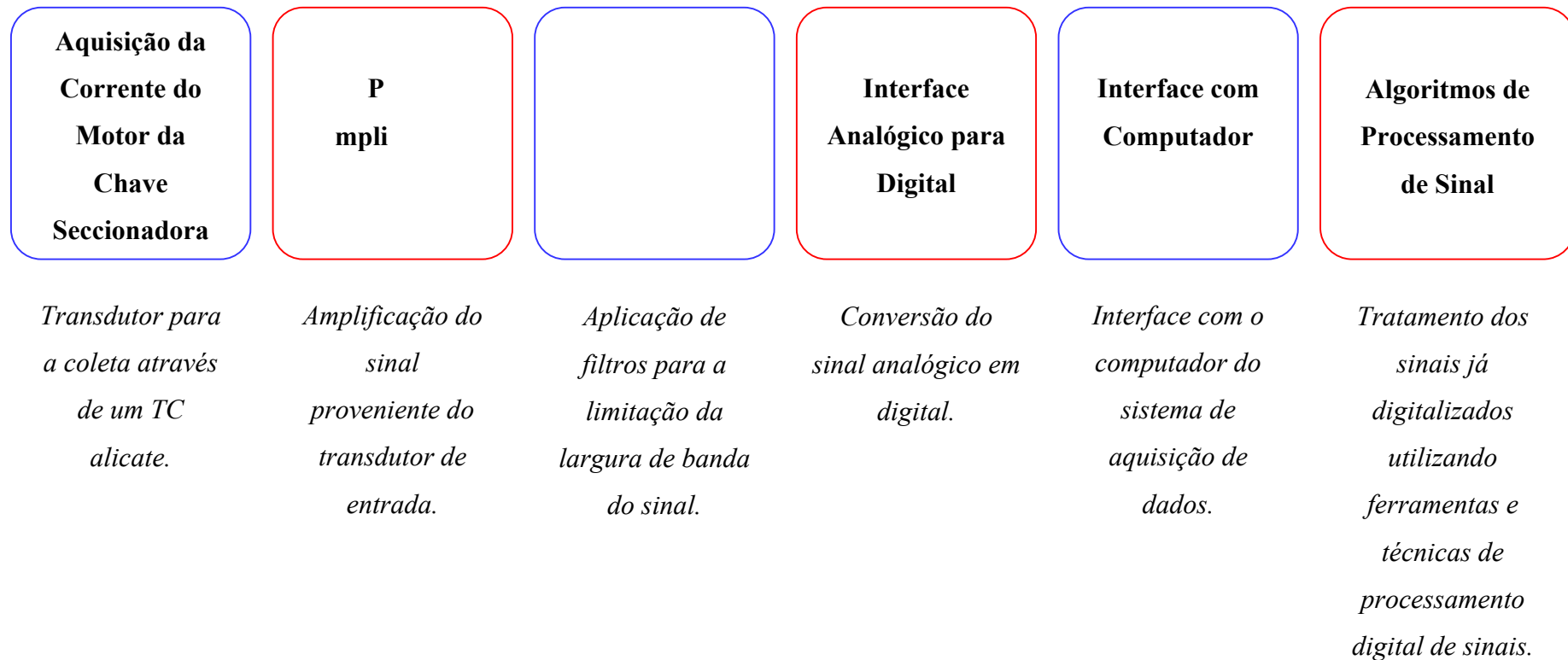


Figura 3-2 – Diagrama de blocos do sistema desenvolvido.

A seguir, será detalhado cada bloco da Figura 4-2.

3.1 APRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES

3.1.1 AQUISIÇÃO DA CORRENTE DO MOTOR DA CHAVE SECCIONADORA

A aquisição da corrente é feita usando um transformador de corrente (TC) Figura 3-3, que fornece um sinal de 100 mV para cada ampère que circula no motor. Este TC foi desenvolvido na própria Eletrosul pelo DMS/DOLT e possui as seguintes características:

Cada 1 ampère terá como saída 100 (mV).

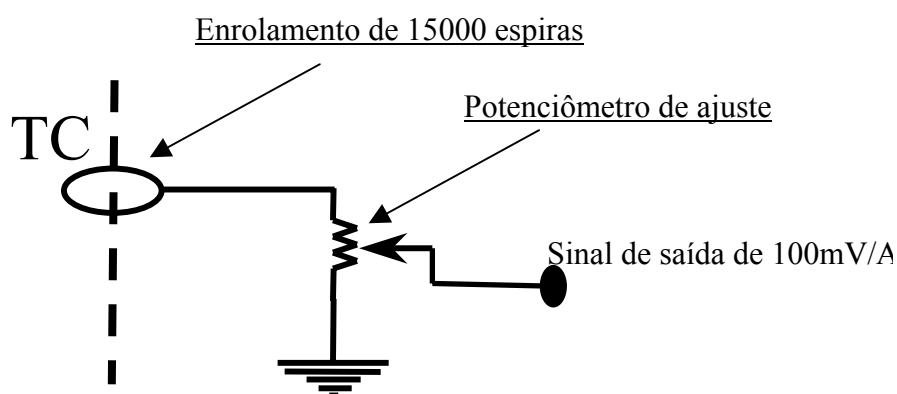


Figura 3-3 – Esquemático do TC alicate utilizado. A relação da saída do mesmo é de 100mV para cada ampère que circula no ponto de leitura.

3.1.2 PRÉ – AMPLIFICAÇÃO

O sinal proveniente do TC é amplificado pelo circuito integrado INA118 da Burr-Brown (amplificador de instrumentação) com um ganho de 1,5 V/V, determinado pelo resistor R_G , calculado pela fórmula:

$$G = 1 + 50K / R_G \quad \text{Equação 3-1}$$

A Figura 3-4 mostra a arquitetura interna do amplificador de instrumentos utilizado.

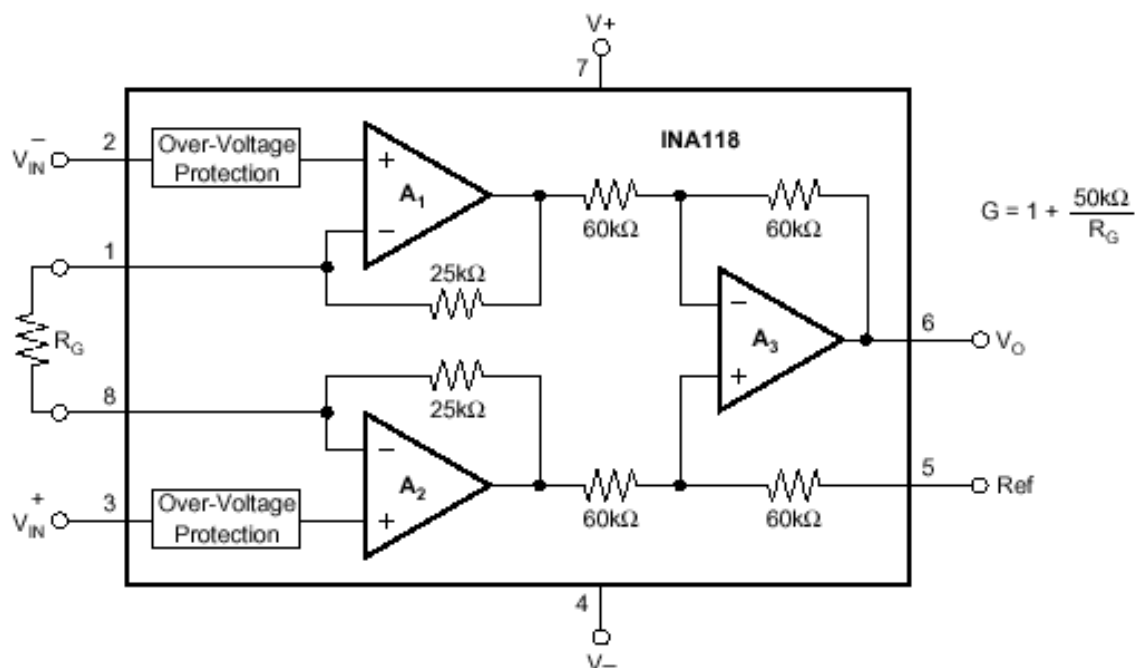


Figura 3-4 – Arquitetura interna do amplificador de instrumentação INA118 da Texas Instruments.

Entre outras características, o INA118 inclui:

- Tensão de “offset” menor que 1 mV;
- Alta taxa de rejeição de modo comum (CMRR), típica de 115 dB;
- Corrente quiescente de 1mA;
- Alta impedância de entrada da ordem de $10^6 \Omega$.

O resistor R_G entre os pinos 1 e 8, determina o ganho do amplificador de instrumentação. Para a obtenção do ganho desejado de 1,5, o valor da resistência R_G é de 100K Ω . A Figura 3-5 mostra o circuito implementado com o amplificador.

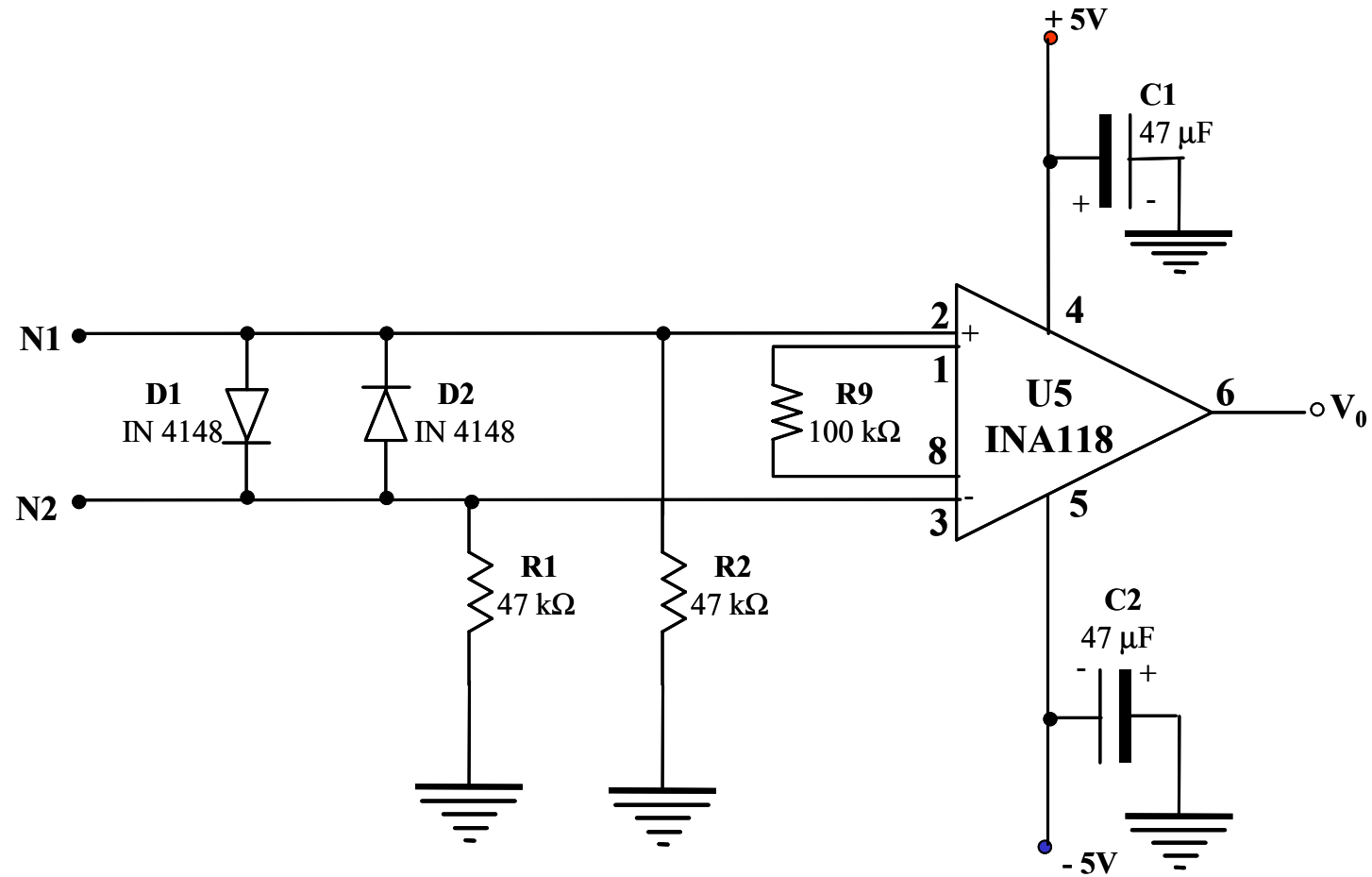


Figura 3-5 – Circuito pré-amplificador implementado.

3.1.3 CONDICIONAMENTO DO SINAL

Para melhorar os estudos desta parte do sistema ele será subdividido em 4 blocos, conforme Figura 3-16.

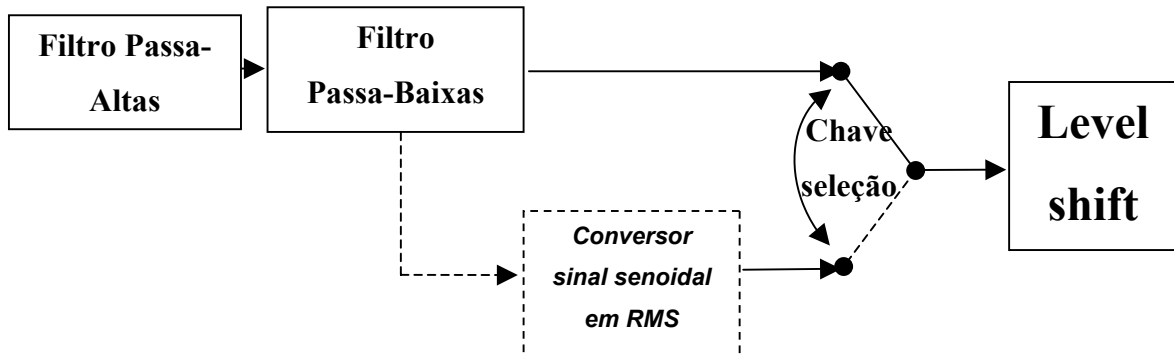


Figura 3-6 - Diagrama em blocos do módulo de condicionamento do sinal.

a) Filtro Passa-Altas

O filtro passa-altas é um filtro Butterworth de segunda ordem de componentes iguais, com estrutura Sallen-key, e com frequência de corte de 0.5Hz. Este filtro tem como objetivo principal reduzir as interferências de baixa frequência do circuito eletrônico. Nele foi usado o circuito integrado TL084 da *Texas Instruments* que consiste de quatro amplificadores operacionais na sua estrutura. Os resistores e capacitores determinantes da frequência de corte possuem os mesmos valores e são determinados pela equação 3-2:

$$R \cdot C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c} \quad \text{Equação 3-2.}$$

Onde f_c é a frequência de corte desejada para o respectivo filtro. Logo, $f_c \cong 0,5\text{Hz}$, devido aos valores de resistores e capacitâncias disponíveis no mercado. No caso em questão foi utilizado $R=330\text{K}$ e $C=1\mu\text{F}$, o que dá um valor de $f_c \cong 0,48\text{Hz}$. O ganho é de aproximadamente 1,586, pelos mesmos motivos acima, e é calculado pela equação 3-3:

$$G_{fpa} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{Equação 3-3.}$$

Na Figura 3-7 vemos o circuito implementado:

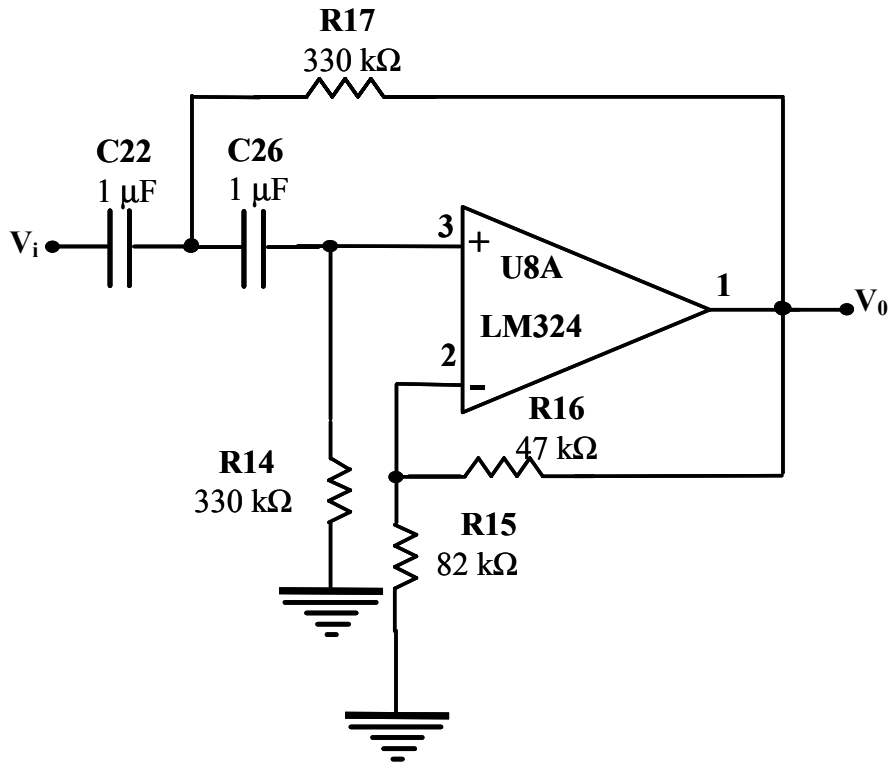


Figura 3-7 – Circuito do filtro passa-alta Butterworth de 2ª ordem de componentes iguais.
 $f_c = 0,5\text{Hz}$.

b) Filtro Passa-baixas

O filtro passa-baixas é um filtro Butterworth de sexta ordem[15], sendo três de segunda ordem em cascata, com estrutura Sallen-key e com frequência de corte em 350Hz. Os valores de resistência e capacitância deste filtro também foram calculados nos mesmos moldes do filtro passa-altas. O ganho total deste módulo é de 4,2, sendo distribuído da seguinte forma:

$$1^\circ \text{ Estágio} \Rightarrow G_{\text{fpb1}} = 1.068 = 1 + \frac{R_{23}}{R_{24}}$$

$$2^\circ \text{ Estágio} \Rightarrow G_{\text{fpb2}} = 1.586 = 1 + \frac{R_{19}}{R_{18}}$$

$$3^\circ \text{ Estágio} \Rightarrow G_{\text{fpb3}} = 2.482 = 1 + \frac{R_{13}}{R_{25}}$$

Na Figura 3-8, observa-se o circuito implementado para o filtro passa-baixas.

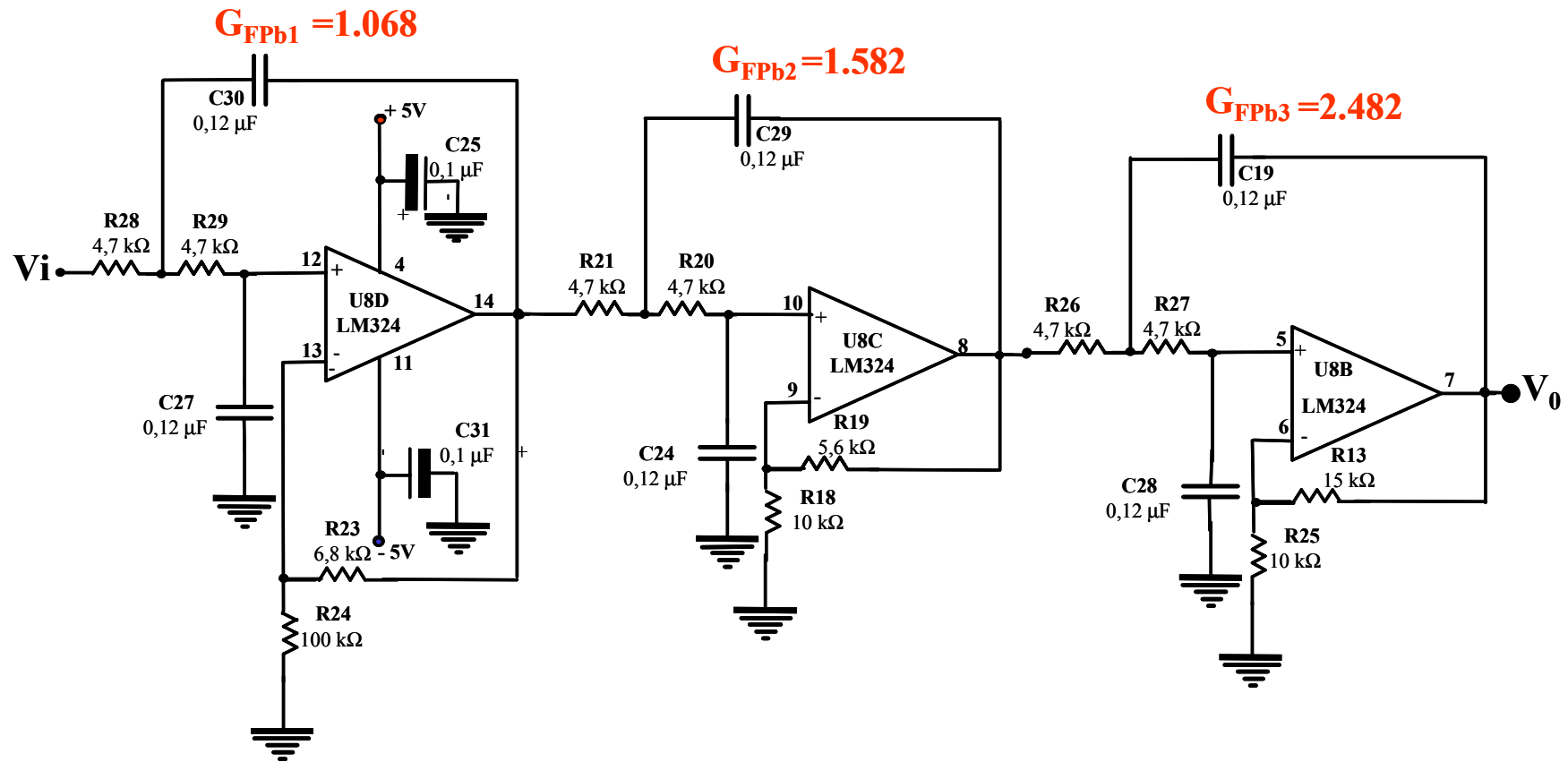


Figura 3-8 – Circuito do filtro passa-baixa Butterworth de 6ª ordem de componentes iguais $f_c=350\text{Hz}$.

c) True RMS-to-DC Converters

Embora este módulo não tenha sido implementando nesta etapa do projeto, este será apresentado. Este bloco é formado pelo circuito integrado MX536A da Maxim, que tem a função de converter um sinal que contém níveis AC em um sinal eficaz, ou seja, converter um sinal RMS para um sinal DC. Para casos futuros de análises rápidas este módulo será de grande importância, pois agiliza o cálculo do valor RMS que hoje executamos via software.

O MX536A usa um método implícito para o cálculo RMS. A tensão de entrada é transformada em corrente, e depois ela é trabalhada de modo que na saída se tenha o valor eficaz do sinal de entrada. Na saída pode-se ter tanto o sinal em forma de corrente como em forma de tensão.

O circuito do MX536A é mostrado na Figura 3-9, e é de simples aplicação.

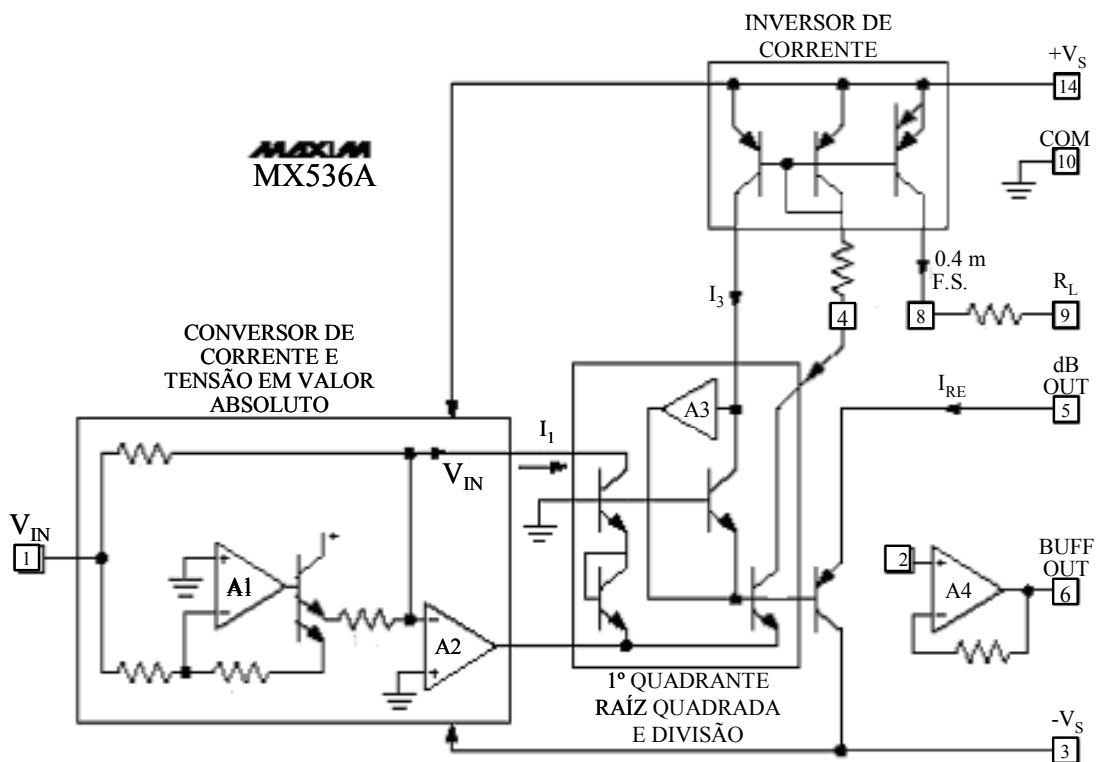


Figura 3-9 – Circuito interno do MX536A.

Vale lembrar que este sistema é uma implementação futura, pois em primeira instância estaremos trabalhando com o sinal senoidal, uma vez que se pode, a partir deste sinal digital, calcular através de software o valor eficaz. Esta abordagem poderá ser importante, pois pode agilizar o processo de análise. O circuito implementado é mostrado na Figura 3-10.

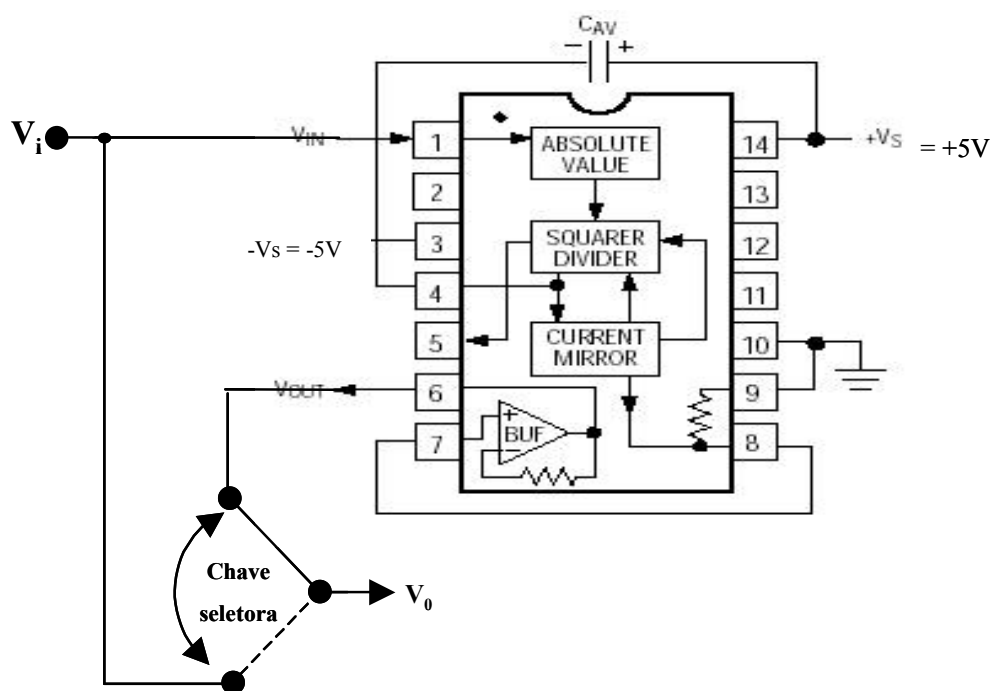


Figura 3-10 – Circuito implantado para cálculo eletrônico do valor eficaz, baseado no CI MX536A da Maxim.

e) **Level shift**

Este sub-bloco tem a função de adicionar ao sinal senoidal, um valor DC afim de que se trabalhe apenas com valores positivos, pois o conversor analógico para digital escolhido não trabalha com valores negativos. Foi escolhido neste caso, o circuito integrado da Maxim MAX495 na configuração da Figura 3-11.

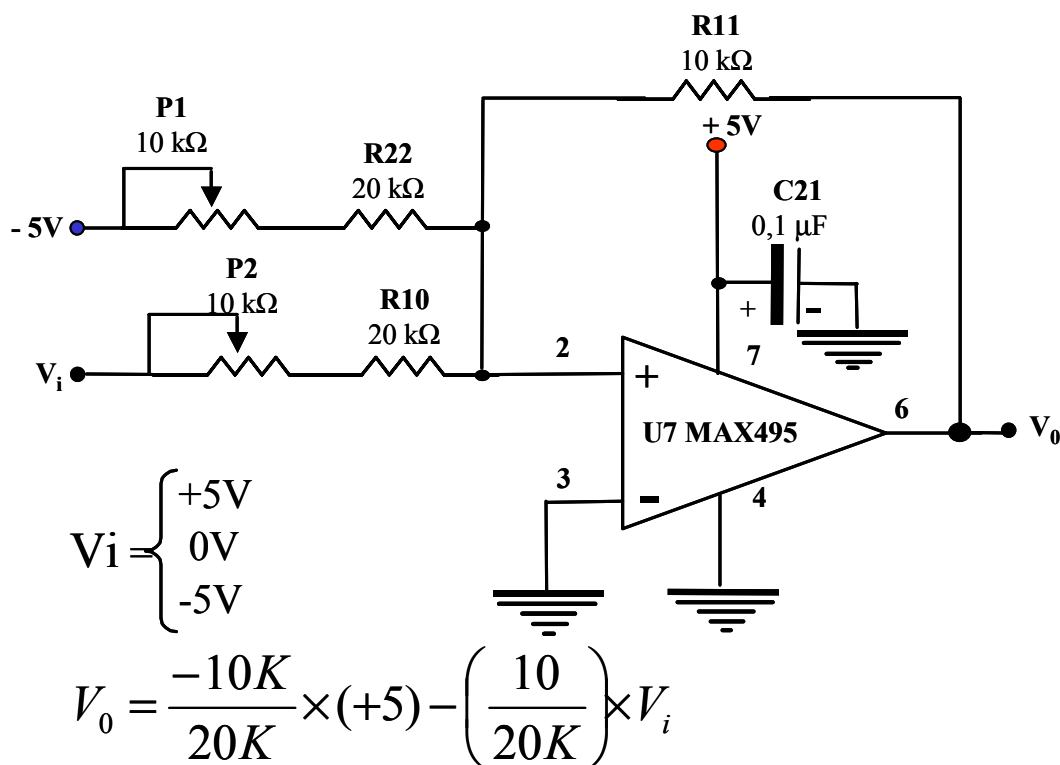


Figura 3-11 – Circuito para mudança da faixa dinâmica do sinal de $\pm 5V$ para $0 - 5V$.

3.1.4 CONVERSOR ANALÓGICO/DIGITAL E INTERFACE

Esta parte tem dois sub-blocos Figura 3-12, um é a conversão do sinal analógico em sinal digital e outra é a conversão do sinal digital binário em 12 bits obtido da conversão em padrão RS232 compatível com a porta serial do micro computador.

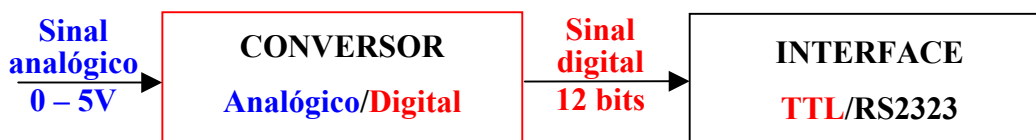


Figura 3-12 - Conversão A/D e comunicação com o micro computador.

a) Conversor analógico/digital

O conversor analógico/digital (ADC) usado é o MAX187 da Maxim. Este CI converte um sinal analógico em um número digital de 12 bits com saída serial unipolar e possui uma tensão de referência interna de 4.096V. A conversão é feita pelo método de aproximação sucessiva. A Figura 3-13 ilustra as ligações elétricas do conversor A/D utilizado.

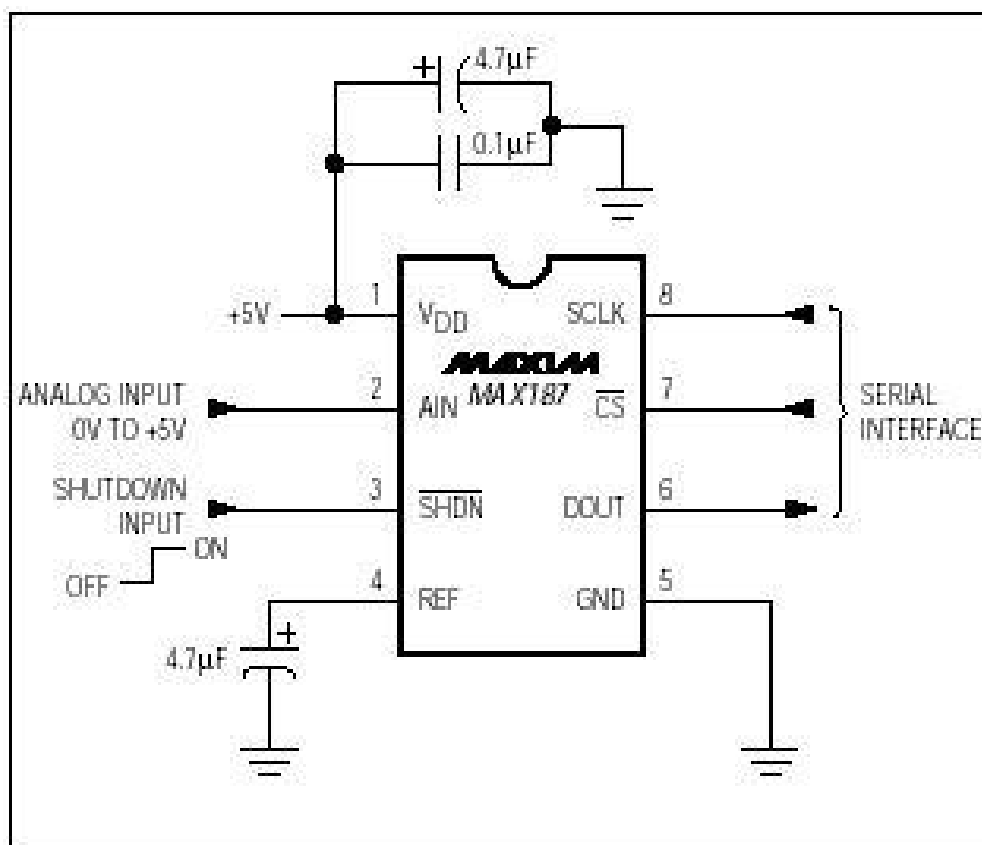


Figura 3-13 – Diagrama operacional do MAX187.

O MAX187 usa uma entrada *track/hold* (T/H) e registrador de aproximação sucessiva para converter um sinal de entrada de 0V para a faixa de tensão de referência em aproximadamente 10 μs , incluindo o tempo de aquisição T/H. O conversor analógico para digital de 12-bit serial MAX 187 opera com uma fonte de +5 Volts e aceita uma entrada analógica de 0 a 5V. Este A/D de aproximação sucessiva apresenta um tempo de conversão de 8,5 μs , um rápido *track/hold* (1,5 μs) e uma interface serial de 3 linhas de I/O (Input/Output) de alta velocidade. O MAX187 possui uma referência interna, de 4,096V. A interface serial requer somente três linhas digitais, SCLK, CS e DOUT, e apresenta fácil interfaceamento com microprocessadores.

Uma conversão é iniciada pela tensão no pino CS mudando de alto (5V) para baixo (0V). O resultado da conversão é avaliado com o DOUT no formato serial unipolar. Um bit alto, sinalizando o fim da conversão (EOC), seguido pelos bits de dados (MSB primeiro), constitui o fluxo de dados do sinal. Este processo é mostrado na Figura 3-14 na forma de diagrama de tempo. A Figura 3-15 mostra a montagem do circuito de conversão.

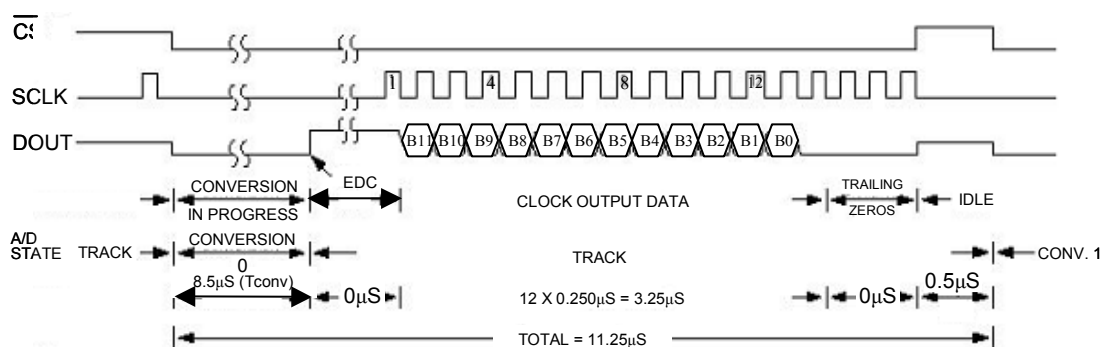


Figura 3-14 – Relações temporais do MAX187.

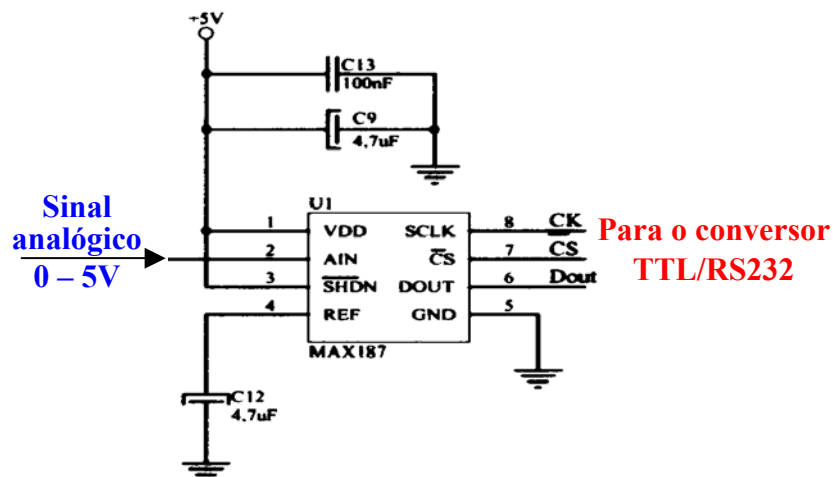


Figura 3-15 – Conversor A/D MAX 187 com suas pinagens.

b) Interface com o microcomputador

Esta interface poderá ser de várias formas, seja ela com um computador do tipo palmtop, ou um laptop, ou um microcomputador, ou até mesmo disponibilizada na rede interna da Eletrosul. Este trabalho deixa aqui uma abertura para continuar com outras etapas. Neste caso, foi utilizado um circuito integrado da Maxim o MAX220, ou o MAX3232 (substituto do MAX220) cuja função é permitir uma comunicação entre o microcomputador e o sistema desenvolvido. Este sub-bloco converte um sinal TTL/CMOS em um sinal padrão RS 232 (+12V) e vice-versa.

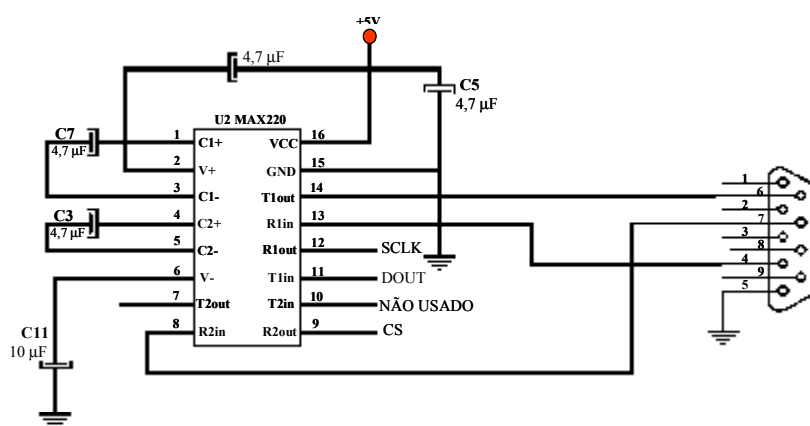


Figura 3-16 – Configuração do MAX220 ou MAX3232 para o interfaceamento do sistema de aquisição de dados desenvolvido e o microcomputador. *SCLK*, *DOUT* e *CS* vem do conversor A/D MAX187.

3.1.5 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

A fonte de alimentação utilizada para energizar o sistema desenvolvido é subdividir em 3 sub-blocos conforme Figura 3-17.

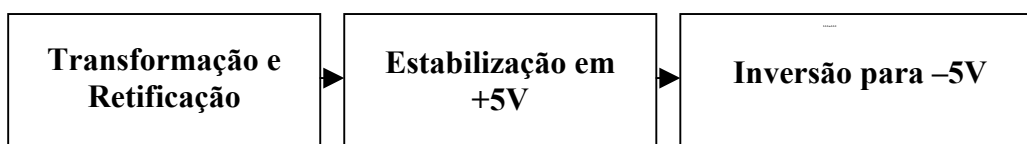


Figura 3-17 – Diagrama de blocos da fonte de alimentação.

a) Transformação e retificação

Pode-se usar um transformador de 110/220V para 12V de 500 mA associados à uma ponte retificadora completa formada por 4 diodos e um capacitor de alisamento de 220µF/25V. Porém neste caso, devido à facilidade de aquisição no mercado destes

produtos, optou-se por adquirir no mercado uma fonte de alimentação regulada com entrada 220/127V 500mA e saída 12Vdc.

b) Estabilização em +5V

Usa-se o circuito TL 317 que admite até 30V na entrada e garante +5 V na saída devido à relação entre os resistores R53 e R54, como se pode observar na Figura 3-18. A grande vantagem desta técnica, é que se pode eventualmente utilizar uma bateria de 9Vdc para a alimentação do circuito.

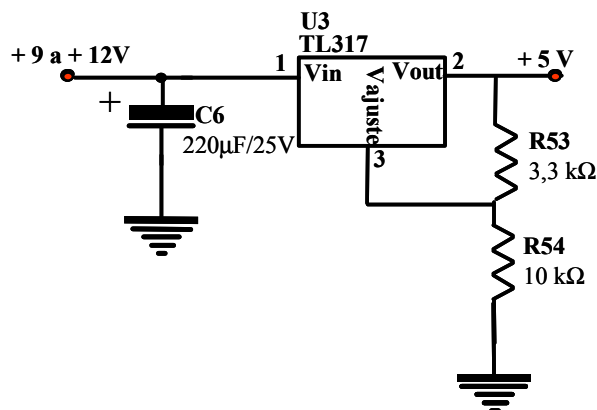


Figura 3-18 – Estabilizador em +5V.

c) Inversor para -5v

Neste sub bloco, usa-se o circuito integrado TPS6735 da *Texas Instruments*, cuja função é inverter a tensão de entrada, e aqui com uma justificativa simples, pois caso tenhamos alguma dificuldade em conseguir a alimentação em 110 ou 220V no local, poderemos utilizar uma bateria 9V sem problemas. A Figura 3-19 ilustra o diagrama do circuito implementado.

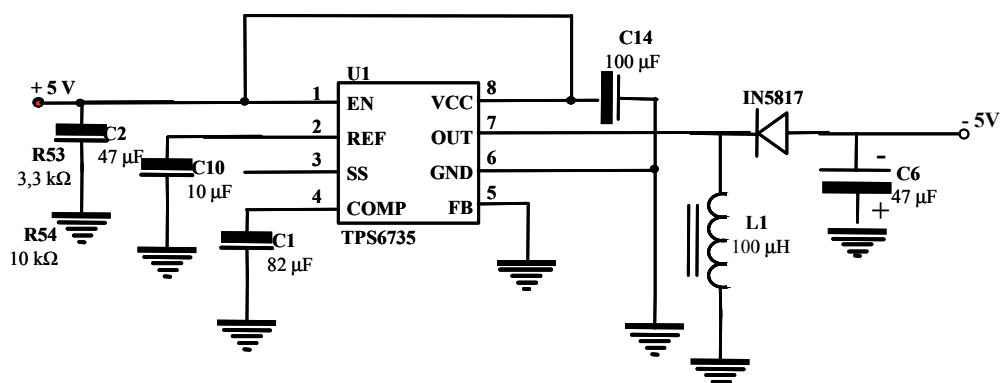


Figura 3-19 – Inversor de +5V para -5V.

As Figuras 4-20 e 4-21 ilustram os circuitos de aquisição, condicionamento, conversão interprocessamento e de alimentação, respectivamente.

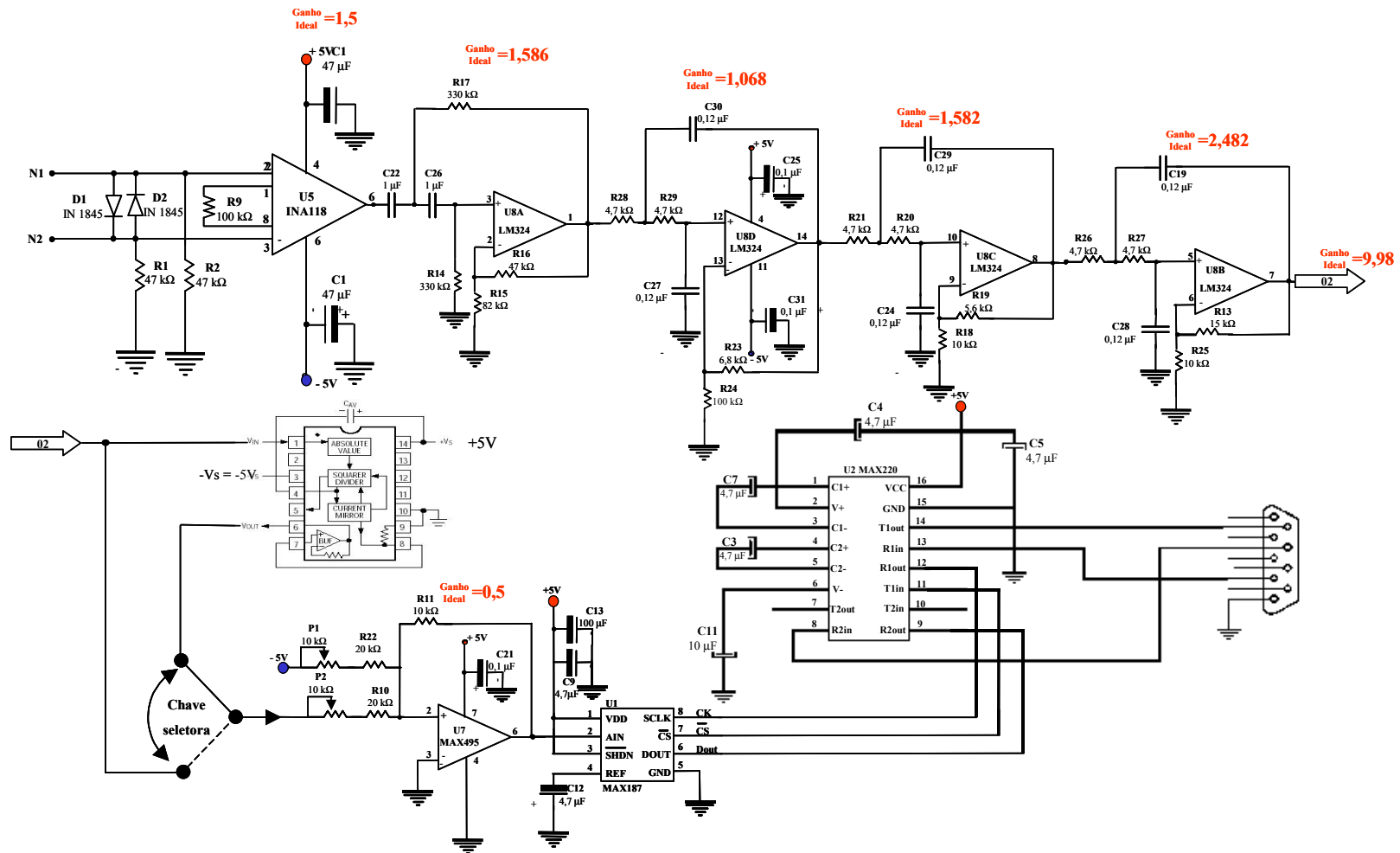


Figura 3-20 – Esquemático do sistema montado para coleta dos dados sem a fonte de alimentação.

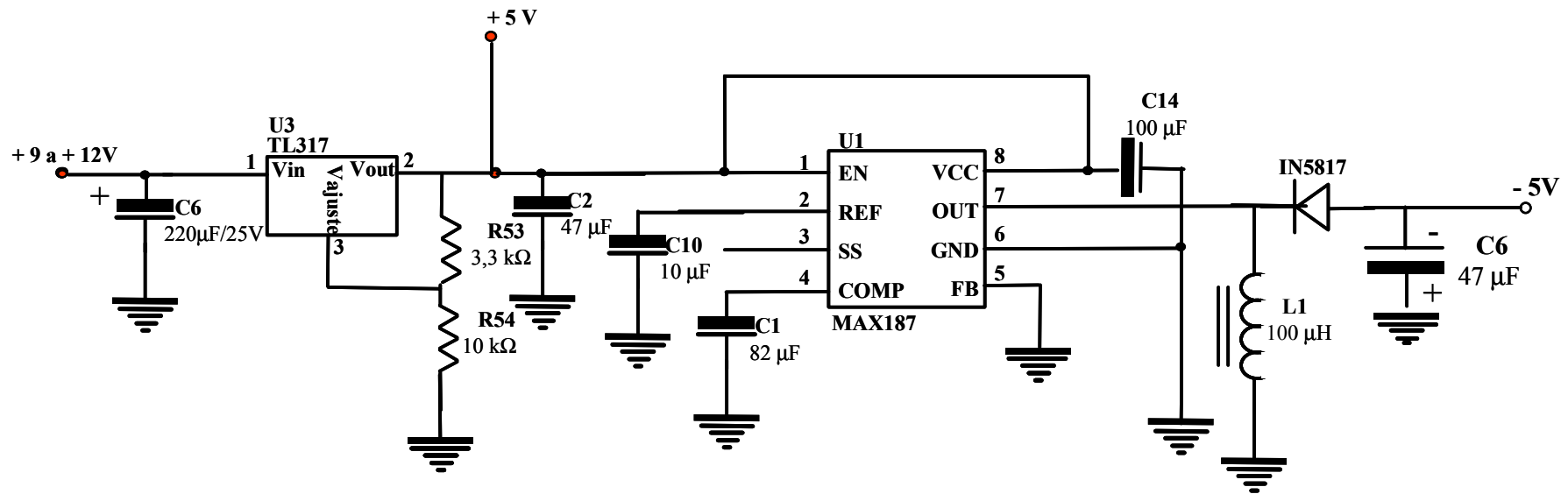


Figura 3-21 – Esquemático da fonte de alimentação do sistema.

3.2 ALGORITMOS DE PROCESSAMENTO DIGITAL E ANÁLISE

O protótipo desenvolvido deveria ser portátil de fácil manejo, de baixo custo e com alta resolução. Desta forma, optou-se pela criação de um hardware dedicado, responsável pela coleta, pré-processamento e digitalização da corrente elétrica do motor de acionamento da chave seccionadora. Este dispositivo poderá ser alimentado tanto por uma bateria 9V, como por uma fonte alternativa como citado anteriormente, e é controlado pela porta serial de um microcomputador. O sistema possibilita a pré-visualização da forma de onda da corrente adquirida. Ao mesmo tempo, armazena o sinal digitalizado em um arquivo cujo nome é especificado pelo operador. Desenvolveu-se para isso um programa baseado no algoritmo de leitura bit-a-bit apresentado na folha de dados do MAX187. Restava, porém um problema relacionado com a precisão temporal durante a aquisição da corrente elétrica do motor.

Eis a questão: O microcomputador disponível funciona baseado em um microprocessador 80586. De modo geral, os microprocessadores da família 80X86, independentemente da sua frequência de clock, interrompem a operação da CPU para a execução de rotinas externas apenas 18,2 vezes por segundo, ou uma vez a cada 55ms. Entretanto, para que a análise possuísse a precisão necessária, era necessária uma resolução temporal de pelo menos 0,5 ms.

Neste caso, a solução adotada foi: Os circuitos de temporização da família 80X86 são regidos por um oscilador de cristal com frequência de 1,193180 MHz. Cada pulso deste oscilador subtrai uma unidade do valor presente em um registrador de 16 bits denominado divisor e, em seguida, testa se o valor resultante é nulo ou não. Caso seja nulo ocorre a interrupção da CPU e o divisor armazena de novo seu valor inicial.

Em condições normais, o valor inicial armazenado no divisor é 0. Como este valor é decrementado antes de ser lido, a interrupção devida a um valor nulo é lançada a cada 2^{16} (65.536) ciclos do oscilador de 1,193180 MHz. Em outras palavras, ocorrem $1.193.180/65.536 = 18,2$ interrupções por segundo. Simplificadamente falando, a resolução temporal de 0,5ms é obtida alterando-se o valor do divisor para 596 (0X254 em hexadecimal).

A Figura 3-22 descreve o fluxograma do programa de aquisição desenvolvido nas linguagens C e Assembly. O sinal é amostrado a uma taxa de 2000 amostras por

segundo. Esta frequência de amostragem é obtida coletando-se o valor da corrente a cada ciclo de 0,5 ms.

O período de amostragem é implementado através de rotina independente da plataforma, desenvolvida especialmente para garantir amostras do sinal de entrada entre períodos de 0,5 ms. Esta rotina é responsável pela geração dos disparos de início de conversão do circuito integrado MAX187, através do pino 7 (CS). Após o término da conversão, o CI MAX187 coloca o pino 6 (DOUT) em nível lógico 1, indicando o fim da conversão. Após então, inicia-se a transferência da palavra de 12 bits (começando pelo MSB – Most Significant Bit). A transferência de cada bit é sincronizada pelo sinal de clock presente no pino 8 (SCLK). Conforme dito anteriormente, as rotinas de transmissão/recepção via porta serial do microcomputador não são utilizadas.

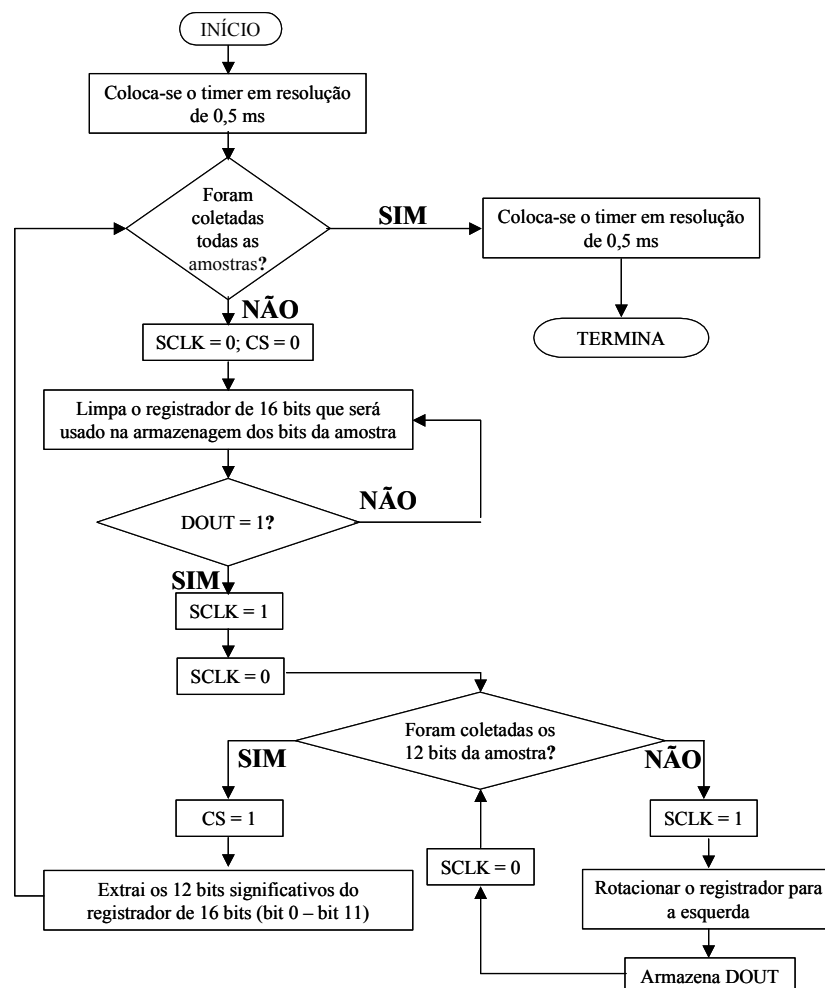


Figura 3-22 - Fluxograma do software de aquisição da corrente elétrica do motor de acionamento da chave seccionadora através da porta serial de um microcomputador.

3.2.1 SOFTWARE DESENVOLVIDO PARA CÁLCULO DO VALOR RMS DA FORMA DE ONDA DO SINAL

Esta seção descreve o procedimento para o cálculo do valor RMS, e as diferentes opções para processar a medida usada nesta dissertação. O valor RMS (*Root Mean Square* ou *valor eficaz*) é uma medida fundamental da magnitude de um sinal AC. Sua definição pode ser prática e/ou matemática.

A definição prática é: O valor RMS de um sinal de AC é a quantidade do valor DC necessária para produzir a mesma quantidade de energia numa mesma carga.

A definição matemática é: O valor RMS de uma função contínua $V(t)$ é definido pela equação 3-4.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \times \int_0^T V^2(t) dt} \quad \text{Equação 3-4}$$

Para um sinal amostrado, o cálculo do valor RMS envolve a somatória do quadrado do sinal no período, dividido pelo período e extraída a raiz quadrada, ou seja, a média quadrática dividida pelo período, extraída a raiz quadrada, é definido pela equação 3-5.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_1^N V^2(i)} \quad \text{Equação 3-5}$$

Uma outra solução seria a da equação 15, porém dependeriam de que a forma de onda do sinal amostrado fosse sem distorção. Assim, para uma onda senoidal sem distorção, com módulo do valor absoluto médio igual a (V_{med}), o seu valor RMS pode ser calculado pela equação 3-6,

$$V_{RMS} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \times V_{MED} \quad \text{Equação 3-6}$$

Esta solução tem uma boa resolução, desde que o sinal seja uma onda senoidal sem distorção, porém para o caso desta dissertação, a relação RMS/ V_{med} muda, e poderíamos estar inserindo erros significativos. Logo, tivemos que aplicar a equação 3-5 com período fixo de 16,67 ms ($f=60\text{Hz}$).

Assim criou-se um fluxograma contendo os passos para cálculo do valor RMS conforme Figura 3-23.

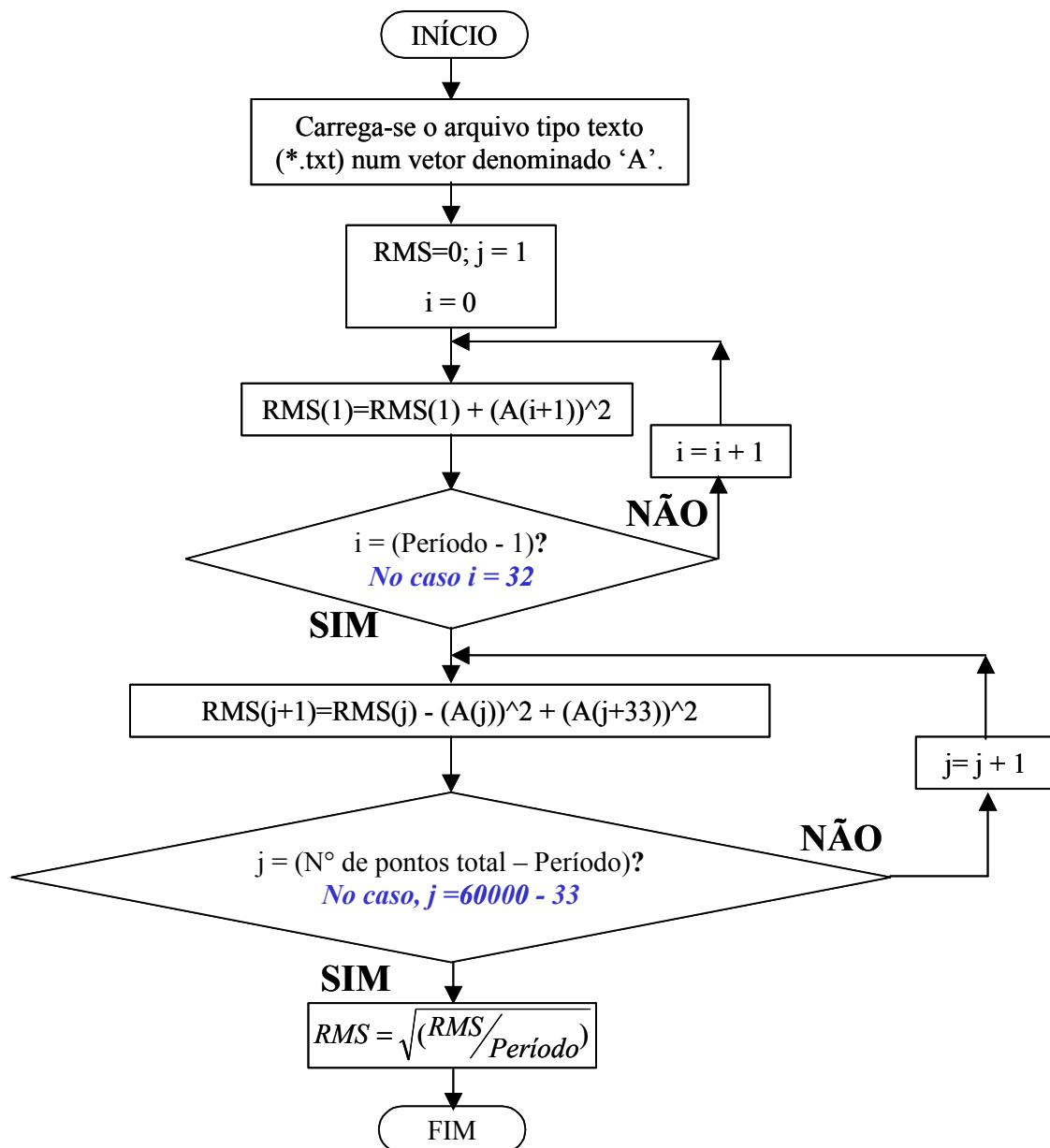


Figura 3-23 - Fluxograma da sistemática utilizada para cálculo do valor RMS

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS ADQUIRIDOS

Os sinais adquiridos, precisam ser convertidos na formatação da norma IEEE C37.111-1991 de dados chamada de COMTRADE [10], a qual permite trabalhar com os números de maneira mais ágil, bem como dá ao sistema uma lógica universal, como comentado no Capítulo 3, item 3.3. Para tal conversão, é necessário converter os números da formatação serial RS232 adquiridos em ASCII para tipo arquivo texto (*.txt), e somente depois realizar a conversão dos mesmos em COMTRADE. O fato do conversor A/D não admitir números negativos leva a executar uma somatória de um sinal DC o qual chamamos de “*Level Shift*” no terceiro sub-bloco do item 4.1.3 explicado no subitem “e”, e que agora precisa ser descontado; esta operação é executada via software antes de calcular o valor eficaz do sinal. Para tal, desenvolveu-se um programa em *Delphi* que executa estas operações, as quais serão apresentadas a seguir. Nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), foi desenvolvido um software em MATLAB, porém devido à Eletrosul não possuir licença para este software, fica-se impedido de usá-lo. Na Figura 3-24 vemos um diagrama de blocos destas operações.

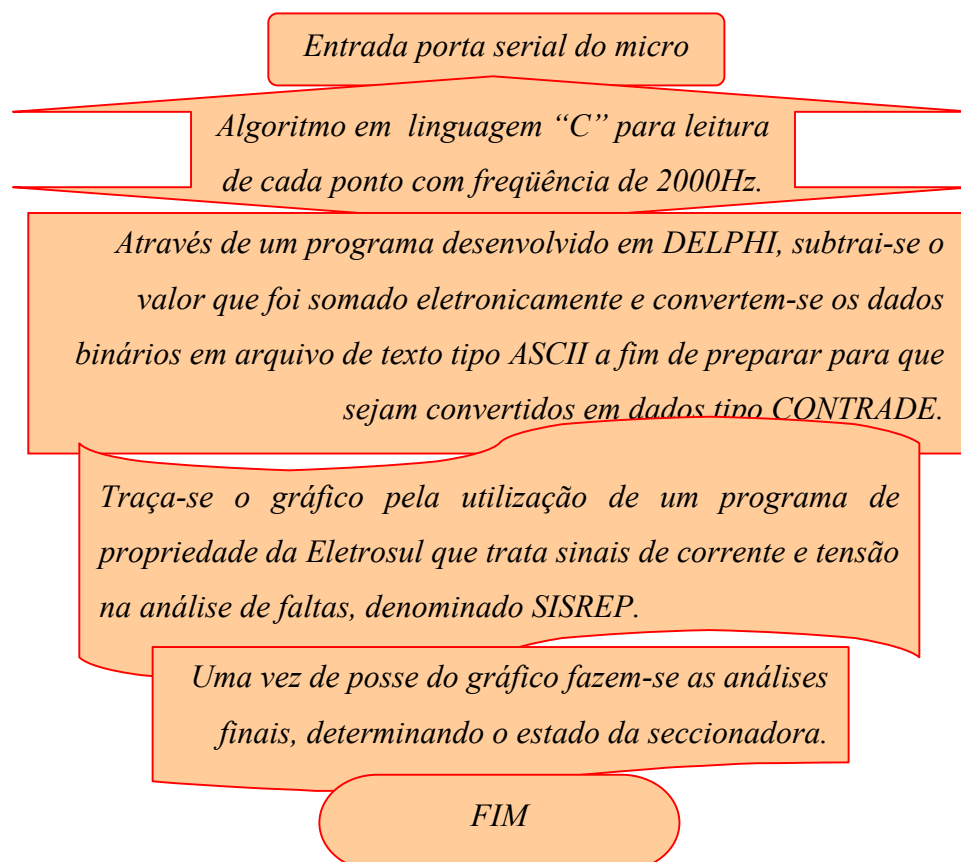


Figura 3-24 - Diagramas de blocos detalhando operações em software para análise dos dados.

a) Programa de conversão dos dados RS232 em arquivo tipo texto (*.txt)

O programa desenvolvido executa as seguintes operações nos dados. Primeiro converte o arquivo coletado tipo DAT (*.DAT) em arquivo tipo texto (*.txt) numérico, depois subtrai do mesmo um valor de 2048 somado no “Level shift” e cria um arquivo tipo texto (*.txt). Depois de realizada esta operação, um outro programa converte este arquivo tipo texto (*.txt) em um arquivo tipo CONTRADE o qual, através de um programa usado pela Eletrosul (SISREP), traçam-se os gráficos utilizados para as análises.

A Figura 3-25 ilustra a janela interativa do programa desenvolvido:

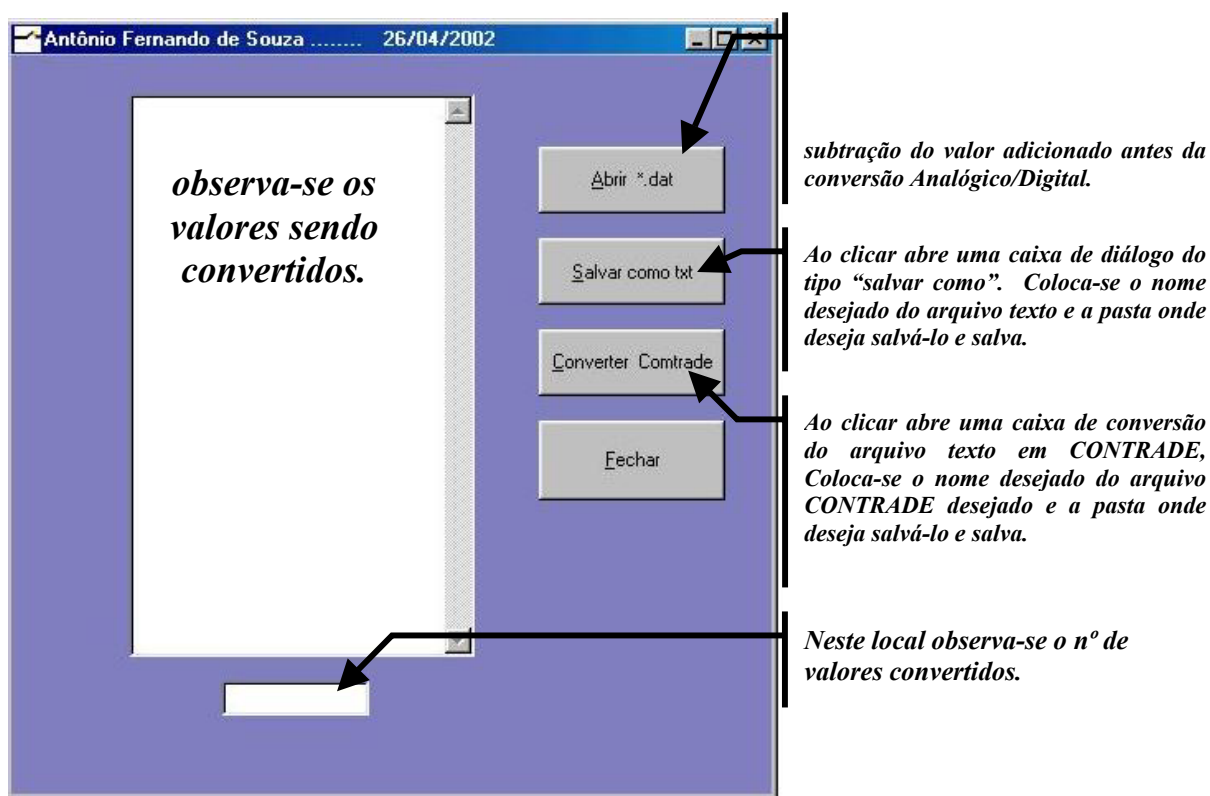


Figura 3-25 – Caixa de diálogo do programa de manipulação dos dados.

A Figura 3-26 ilustra a caixa de diálogo do programa de conversão de arquivo tipo texto (*.txt) para o formato CONTRADE. Este programa de conversão foi desenvolvido pela tecnologia Reason para a Eletrosul.



Figura 3-26 – Caixa de diálogo do programa de conversão de arquivo texto para COMTRADE.

b) Algoritmo para compreensão de todo o processo de aquisição e análise

Neste item detalharemos um algoritmo com o objetivo de compreender o processo como um todo.

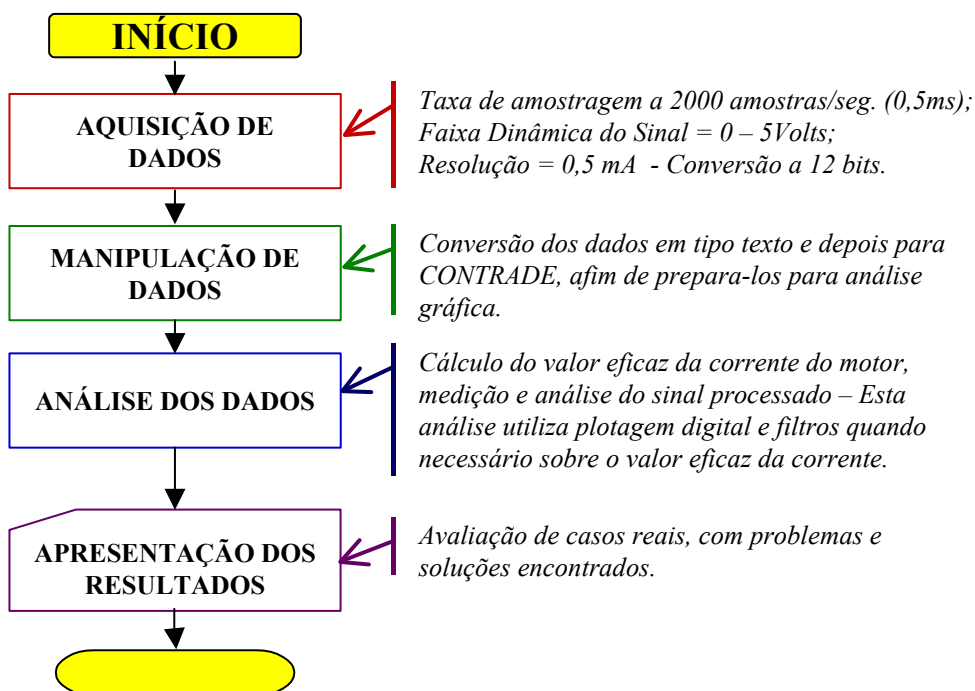


Figura 3-27 - Algoritmo do processo todo.

4 RESULTADOS

Após montar o protótipo e realizar alguns testes com sinais a partir de um gerador de sinais em laboratório para teste em bancada, coletaram-se em campo dados reais de abertura e fechamento de chaves seccionadoras. A seguir podem ser observados os resultados obtidos, bem como suas análises.

4.1 TESTES REALIZADOS EM LABORATÓRIO

No laboratório, o primeiro teste foi tomar um gerador de sinal e coletar dados em vários valores de frequência e tensão (tensão porque o amperímetro alicate desenvolvido fornece uma relação de 100 mV para cada ampère lido). Assim sendo, após os testes verificamos um funcionamento adequado em relação ao esperado. Os filtros para limitação de largura de banda do sinal (0,5 – 350 Hz) de interesse desenvolvidos funcionaram corretamente, e as variações provocadas propositalmente tiveram uma resposta conforme o esperado.

Após estes testes no laboratório, fez-se um teste com um ventilador de três velocidades, sendo obtido o resultado mostrado na Figura 4-1.

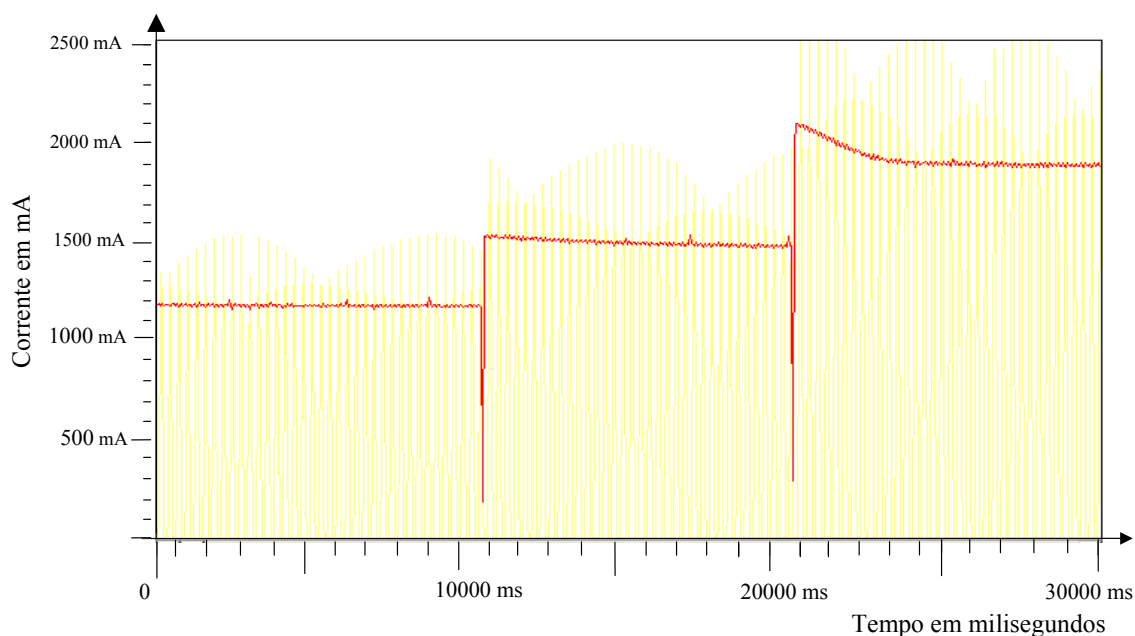


Figura 4-1 – Gráfico do teste realizado em um ventilador de 3 posições. Em amarelo dados originais e em vermelho o valor eficaz calculado por software da corrente do motor elétrico do ventilador.

Na Figura 4-2, observa-se o gráfico de um sinal senoidal 60Hz de 600 mV pico a pico injetado no sistema através de um gerador de sinais.

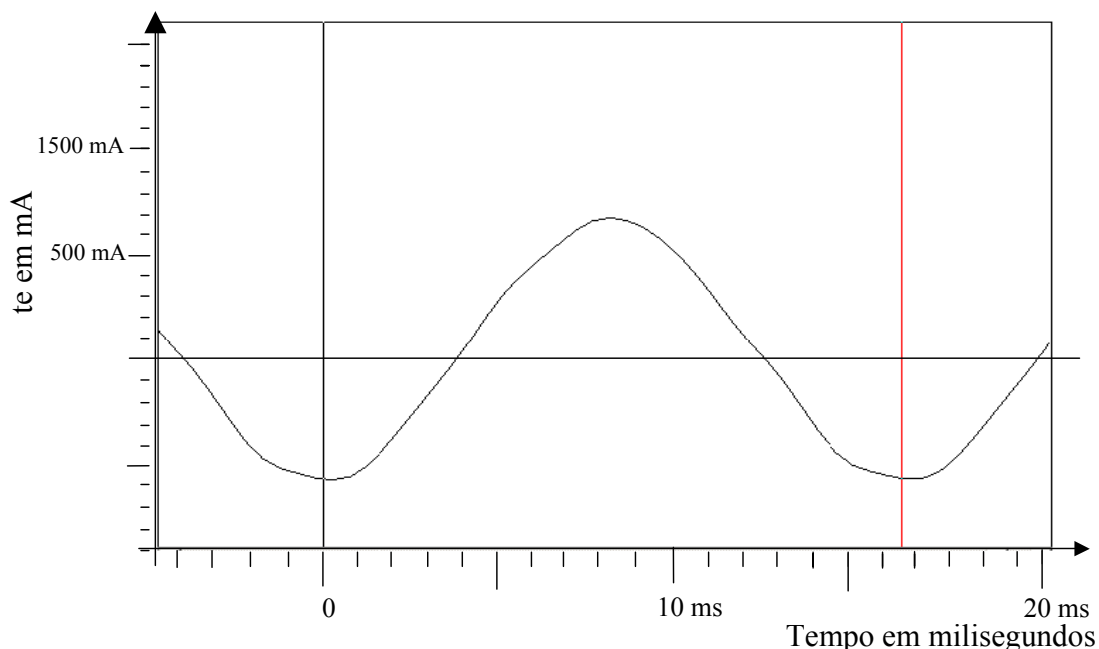


Figura 4-2 – Sinal senoidal de 600 mV pico a pico e 60 Hz.

4.2 TESTES REALIZADOS NO CAMPO

4.2.1 SECCIONADORA DE 230KV MODELO SPIG DA SUBESTAÇÃO DE PALHOÇA

Foi o primeiro teste real de funcionamento do sistema no campo, exposto às interferências possíveis. O sistema funcionou como esperado, as interferências foram poucas e pode-se observar uma constância nas formas de onda de corrente elétrica do motor das chaves seccionadoras inspecionadas. Foi desenvolvido o seguinte trabalho de coleta de dados: Primeiro mediu-se a corrente do motor durante o fechamento e a abertura da chave seccionadora que embora, aparentemente, não apresentava nenhum problema, mas deveria passar por manutenção tipo “12 anos”. Neste tipo de manutenção, a seccionadora é substituída por outra idêntica revisada em oficina eletromecânica, ficando apenas a base, também denominada de “revisão completa”. Após a manutenção realizou-se uma nova medição durante um comando de fechamento e abertura, para comparação com os dados obtidos antes da manutenção. Os resultados são mostrados nas Figuras 4-3, 4-4 e 4-5.

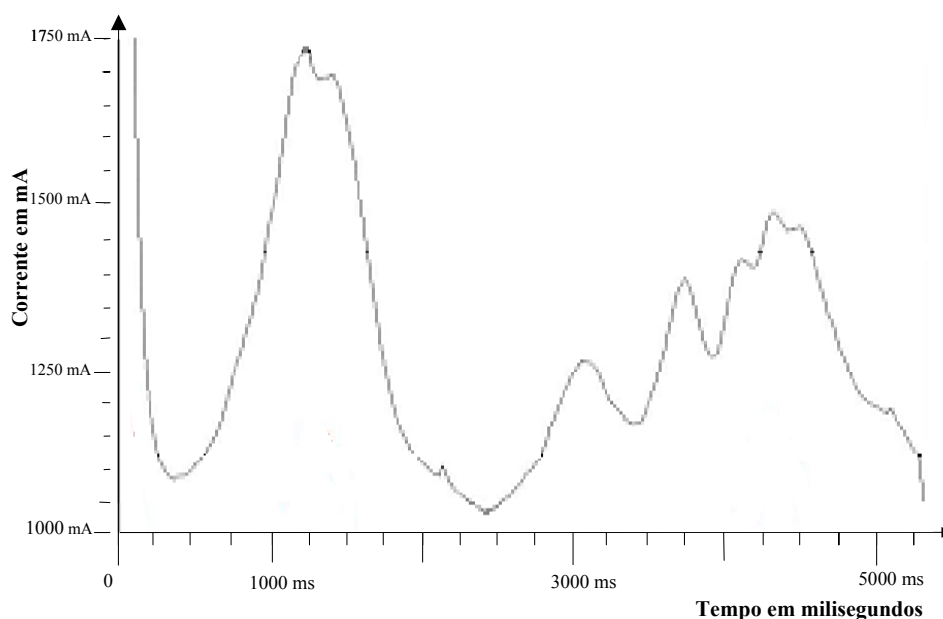
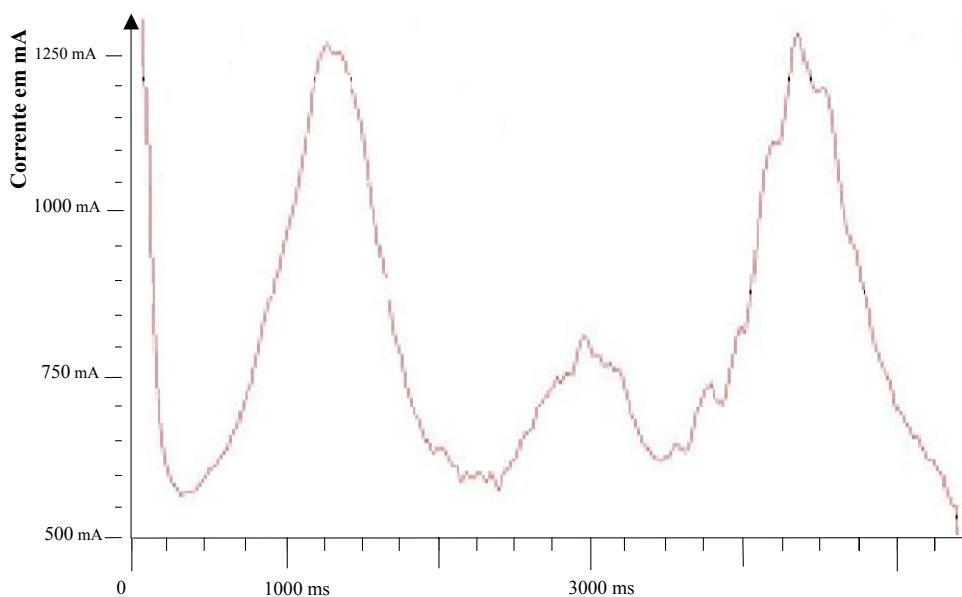


Figura 4-3 – Gráfico do fechamento da seccionadora 733 da SE Palhoça antes da manutenção tipo “12 anos” com tempo total de abertura de 5,34 segundos. Este primeiro gráfico é antes da manutenção, embora a seccionadora estivesse em boas condições.

A Figura 4-3 ilustra a forma de onda do valor eficaz da corrente elétrica do motor antes da manutenção e já a Figura 4-4 a mesma corrente após a manutenção da chave.

Figura 4-4 – Gráfico dos dados coletados após manutenção tipo “12 anos” da



seccionadora 733 da SE Palhoça.

Na Figura 4-4, observa-se que embora tenha sido trocada a seccionadora (manutenção tipo “12 anos”), o gráfico apresenta as mesmas características, o que denota

que existe uma curva característica para este modelo de seccionadora. Outro aspecto a observar é que a seccionadora ficou consideravelmente mais leve após a manutenção, pois os valores de corrente eficaz nos pontos máximos e mínimos diminuíram em aproximadamente 200mA em média. Ao se colocar os valores num mesmo gráfico, Figura 4-5, este fato se torna visual, pois a nova curva fica literalmente abaixo da outra, o que mostra uma queda do torque médio. É interessante observar que embora os valores de torques durante quase todo o percurso da chave após manutenciada diminuíram, o torque exatamente no momento de engate nos contatos também reduziu, porém em menor escala de proporção, do que nos outros momentos, ou seja, observa-se um bom engate no contato. Além disto, o formato do gráfico no ponto de fechamento dos contatos é o mesmo nas duas curvas, mostrando que o engate no contato foi igual e que poderemos neste caso determinar em situações futuras se a chave seccionadora completou seu curso corretamente, e inclusive se fechou corretamente com detalhes do tipo “*temos boa pressão nos contatos?*” O que visualmente não se pode observar, mas na Figura 4-5 vê-se claramente que a redução do valor da corrente não foi proporcional, ou seja, manteve-se uma determinada pressão nos contatos.

Outro fato interessante é que os tempos de fechamento são muito próximos, ou seja, quando variar o tempo de fechamento com certeza já não adianta mais dar manutenção na mesma, pois já pode ser tarde demais. Aqui contestamos a utilização de um método que analise o estado da chave pelo seu tempo de curso, embora este seja importante, talvez não seja suficiente e não valha a pena perder tempo na sua análise.

Colocando os dois gráficos sobrepostos, teremos mais condições de analisar os mesmos comparativamente, é o que foi feito na Figura 4-5, e neste caso pode-se observar uma igualdade muito grande nas características das mesmas, porém uma bem abaixo da outra. Vale lembrar que são seccionadoras do mesmo modelo, mas devido ao tipo de manutenção dada (tipo 12 anos), foi retirada a antiga e instalada uma revisada em oficina, podemos dizer que são equipamentos diferentes do mesmo modelo e fabricante e por isto afirmar que este modelo possui uma assinatura.

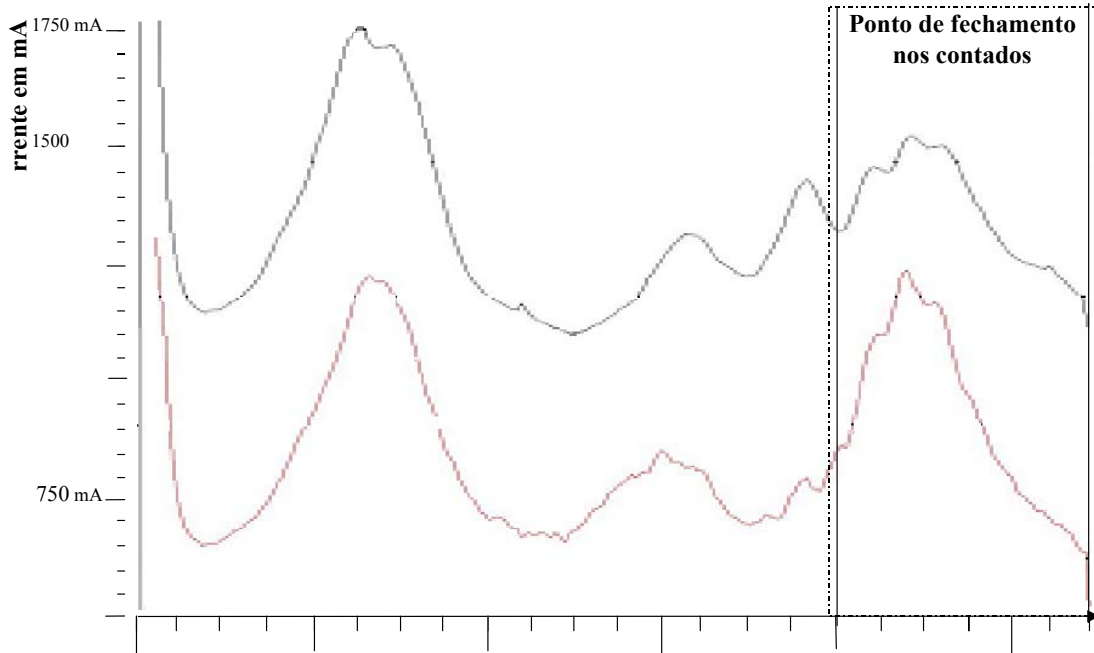


FIGURA 4-5 – FECHAMENTO DA SECCIONADORA 733 DA SE PAL ANTES (GRÁFICO SUPERIOR) E APÓS A MANUTENÇÃO (GRÁFICO INFERIOR).

4.2.2 VERIFICAÇÃO DURANTE AJUSTE DE CHAVE SECCIONADORA

Com o objetivo de verificar a capacidade de percepção do sistema de um defeito, foi realizada uma leitura durante a manutenção (ajustes) de uma seccionadora de outro modelo, e verificou-se que durante seu fechamento, a mesma estava desajustada no momento do fechamento dos contatos. Observou-se um agarramento no final do seu curso, ponto exato em que a mesma engata no contato. A chave seccionadora foi ajustada de forma a não mais forçar os contatos, pois o fim de curso estava levemente desajustado e reduziu significativamente sua corrente neste ponto como podemos observar nas Figura 4-6 e 4-7. Vale lembrar que este foi na realidade o primeiro teste realizado, antes mesmo de se desenvolver o protótipo, e estes dados foram coletados com um aparelho especial da Eletrosul cujo valor para compra é muito alto em comparação à necessidade, mas que serviu de amostra para determinar valores tais como frequência máxima de amostragem, e precisão necessária, antes de projetar o protótipo. Outras leituras foram realizadas com este objetivo, mas não entendemos ser relevante neste momento.

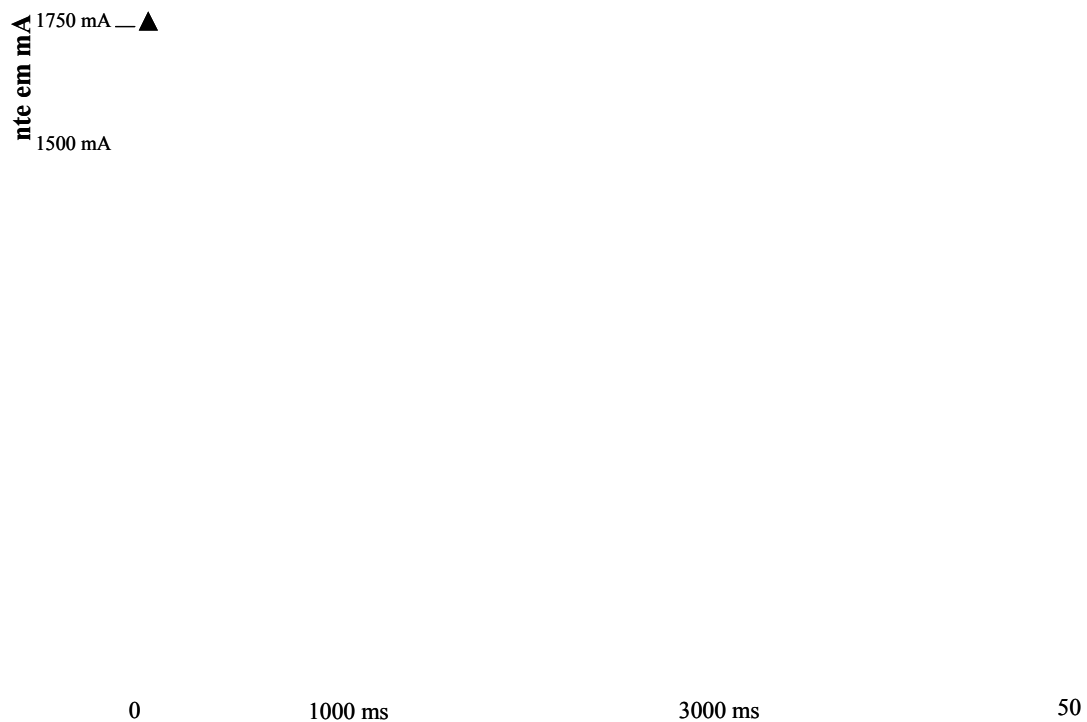


Figura 4-6- Gráfico da corrente eficaz do motor de uma chave seccionadora antes do término dos ajustes.

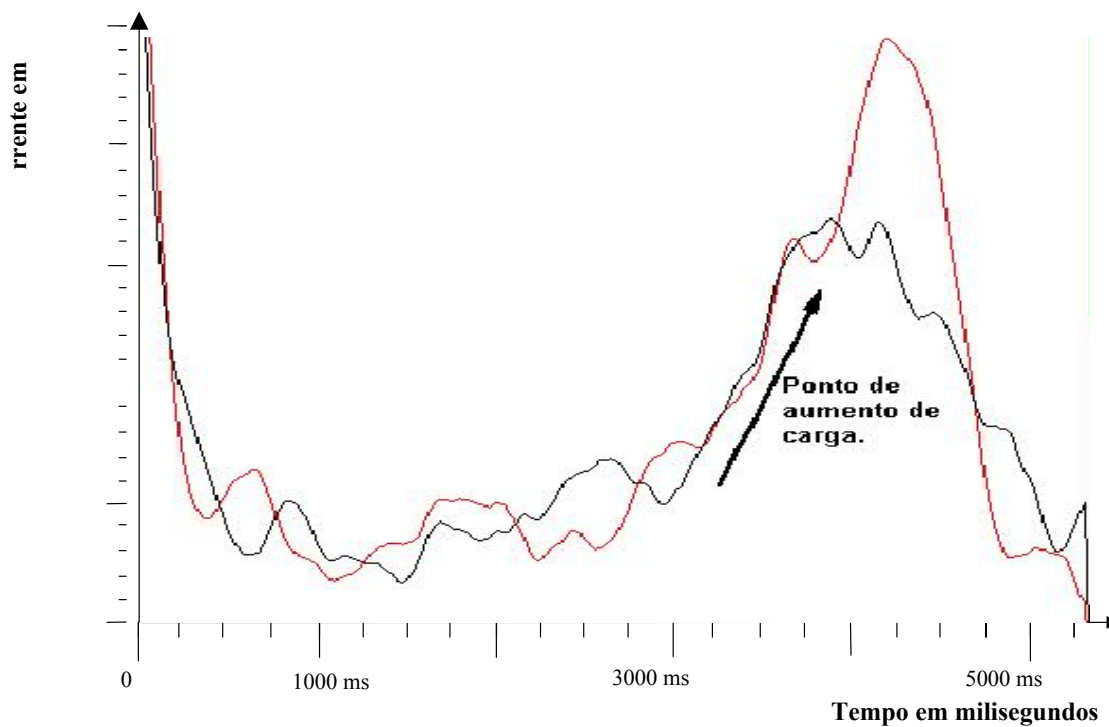


Figura 4-7 – Análise simultânea de duas coletas de dados. Em vermelho antes do ajuste e em preto, após os ajustes na mesma seccionadora.

4.2.3 AJUSTE CS 733 LAELC DA SE JOI 230 KVC

A referida chave foi montada, porém apresentou alguns desajustes.

Neste trabalho teve-se o acompanhamento do técnico especialista do fabricante para confirmação dos pontos de ajustes.

Foram realizadas algumas medições e análises antes de realizar os ajustes, já sabendo dos defeitos (a chave estava desajustada), pois os mesmos eram visuais conforme Figuras 5-10 e 5-11, e confirmado na análise da Figura 4-9.

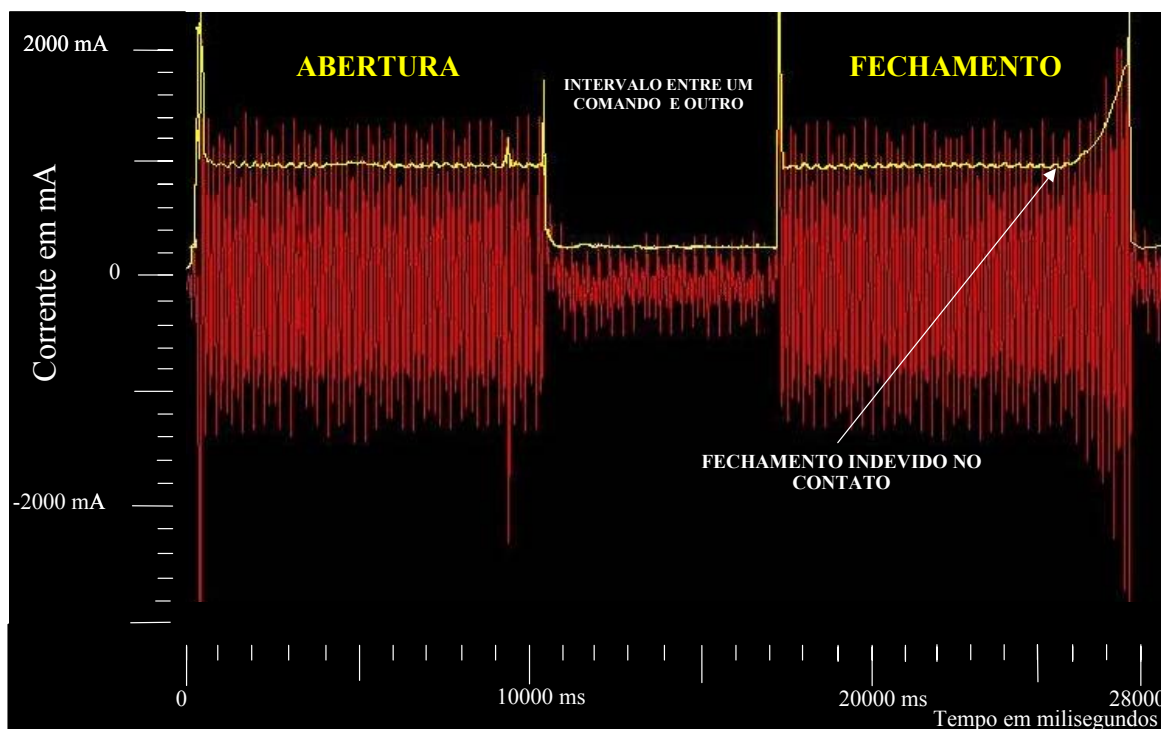


Figura 4-8 – Gráfico de ajuste da CS 671 SE JO. Este gráfico mostra um comando de abertura seguido de um de fechamento antes da chave ser ajustada e mostra que no fechamento temos problemas no momento do engate do contato.

Realizou-se mais de uma medida de cada caso e pode-se observar a constância dos dados.

Na Figura 4-9 é mostrada uma segunda leitura do fechamento ainda antes dos ajustes, porém mais detalhada, e esta mostra a mesma falha. Fatos como este, (realizar várias leituras do mesmo estado) possibilitaram verificar a constância dos dados, e por isto, na maioria das vezes foi executado desta forma.

O mau fechamento dos contatos é também visual veja Figuras 5-10 e 5-11.

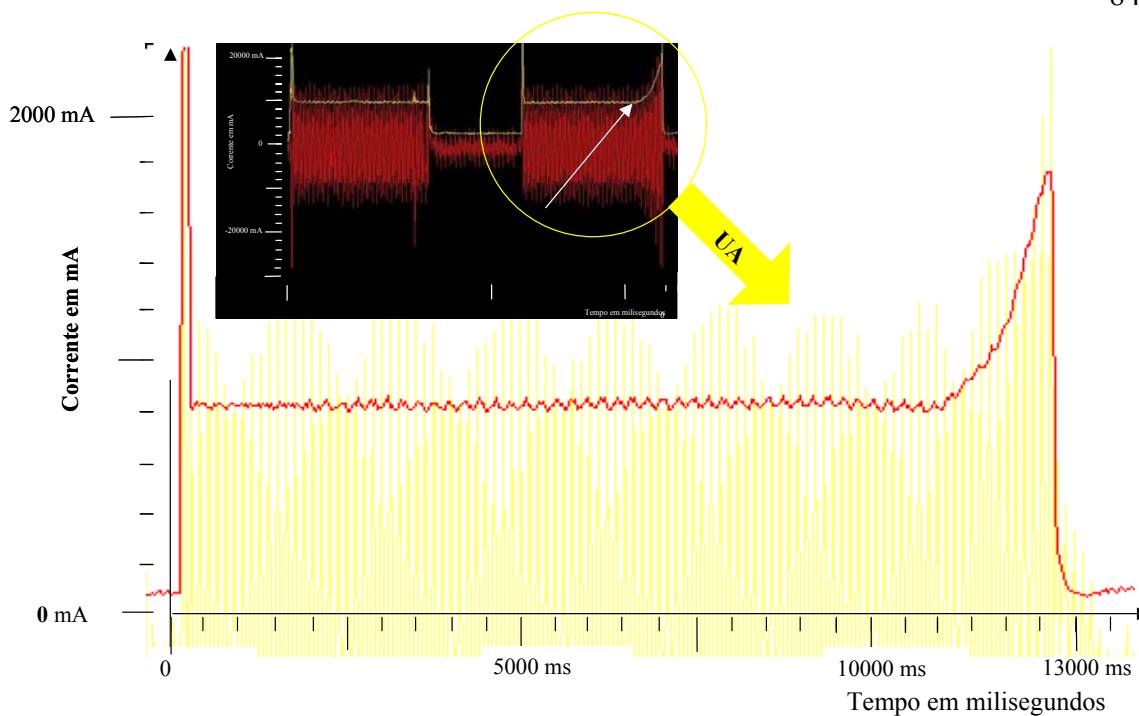


Figura 4-9 – Detalhamento do segundo comando executado para fechamento da CS 671 da SEJOI. Este segundo gráfico detalha o mesmo fechamento, muito embora tenha sido retirado de um segundo comando ainda antes dos primeiros ajustes, ilustrando a constância dos dados.



Figura 4-10 – Detalhe fase B (antes do ajuste) Figura 4-11 – Detalhe fase C (antes do ajuste).

Com o auxílio do técnico especialista do fabricante, executaram-se alguns ajustes nos pólos citados abaixo:

- Alinhamento da coluna nas fases b e c;
- Acerto da pressão dos contatos fixos;
- Ajuste da pressão das molas de amortecimento (deixado dois fios de rosca após a porca de ajuste, antes estava com 4 fios de rosca, o que deu mais pressão nas mesmas, melhorando o contrabalanço);
- Acerto dos batentes mecânicos de fim de curso;
- Erguida a haste de comando principal, pois a mesma estava roçando nos pontos de travamento mecânico;
- No final dos ajustes mecânicos, foram também ajustados os fim-de-cursos mecânicos, e por fim por uma constatação gráfica, ajustados os *micro-switches* elétricos;
- Lubrificação dos contatos com vaselina (aqui, entendemos que este procedimento pode falsificar os trabalhos de ajustes, muito embora somente foram lubrificados ao final dos mesmos).

Após os ajustes iniciais, o fechamento visualmente parecia correto, veja Figura 4-12, as três fases estavam da mesma forma, muito embora a foto seja apenas da fase C.

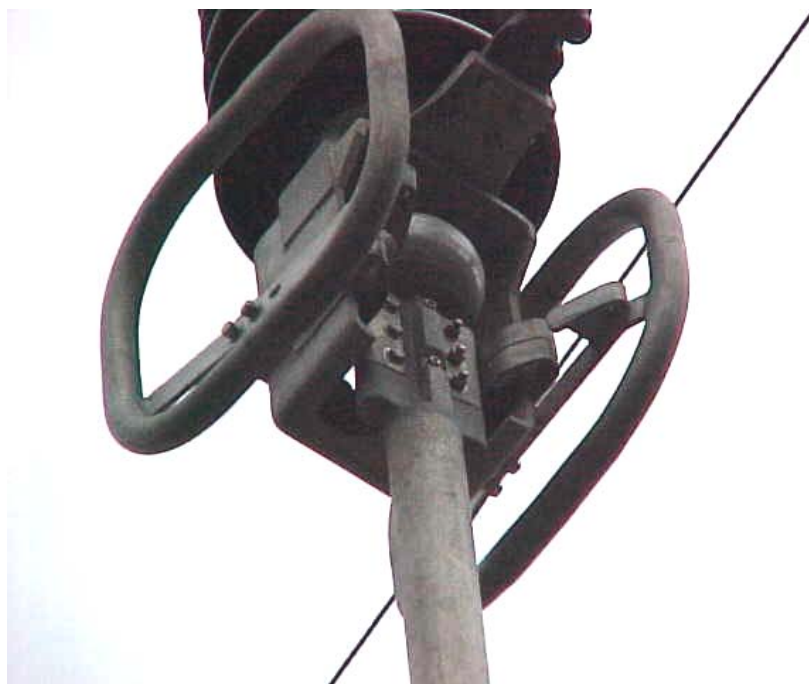


Figura 4-12 – Detalhe do contato após primeiro ajuste. Para comparação ver Figura 4-10.

Porém pelos gráficos mostrados na Figura 4-13, pode-se observar como o método aplicado auxiliou nos ajustes finais quando já visualmente não mais se observava qualquer defeito.

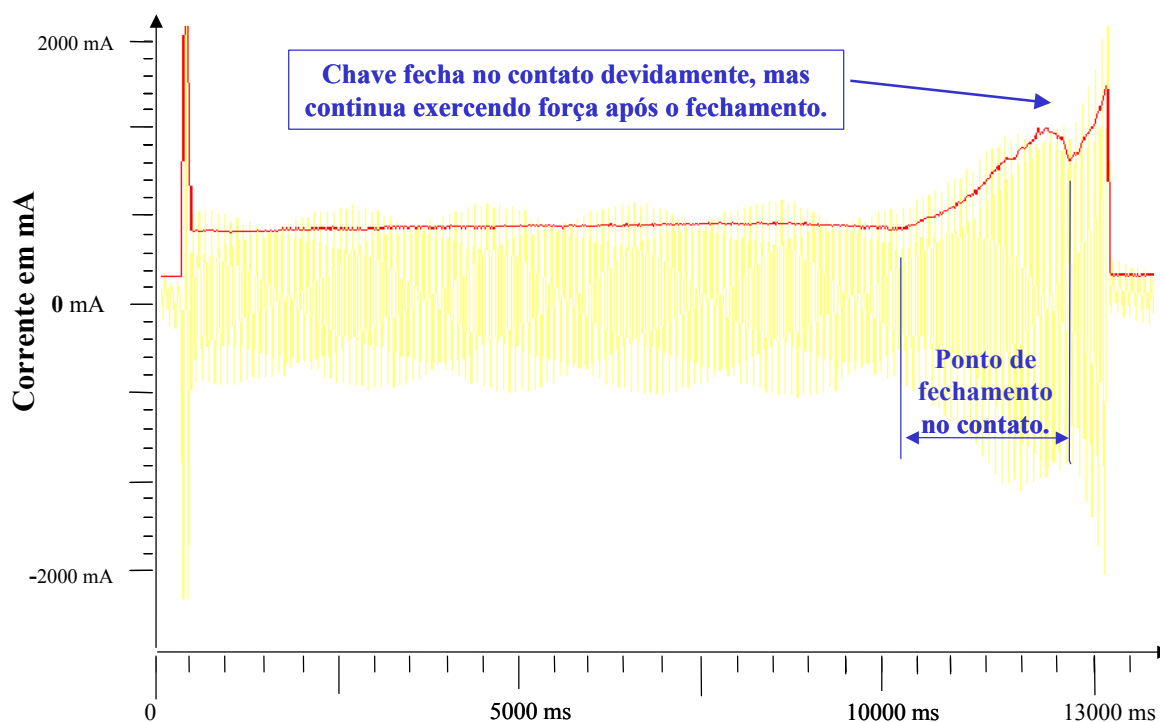


Figura 4-13 – Gráfico do primeiro comando da CS 671 após os ajustes iniciais.

Observa-se que a chave fecha normalmente nos contatos, mas após engatar, continua forçando nos mesmos por um pequeno período de tempo. Este fato somente foi possível observar pelo gráfico da Figura 4-13. Foi então atuado no micro switch elétrico de fechamento promovendo o desligamento do motor num prazo de tempo menor (um pouco antes do ajustado), e observa-se a seguir o resultado obtido na Figura 4-14.

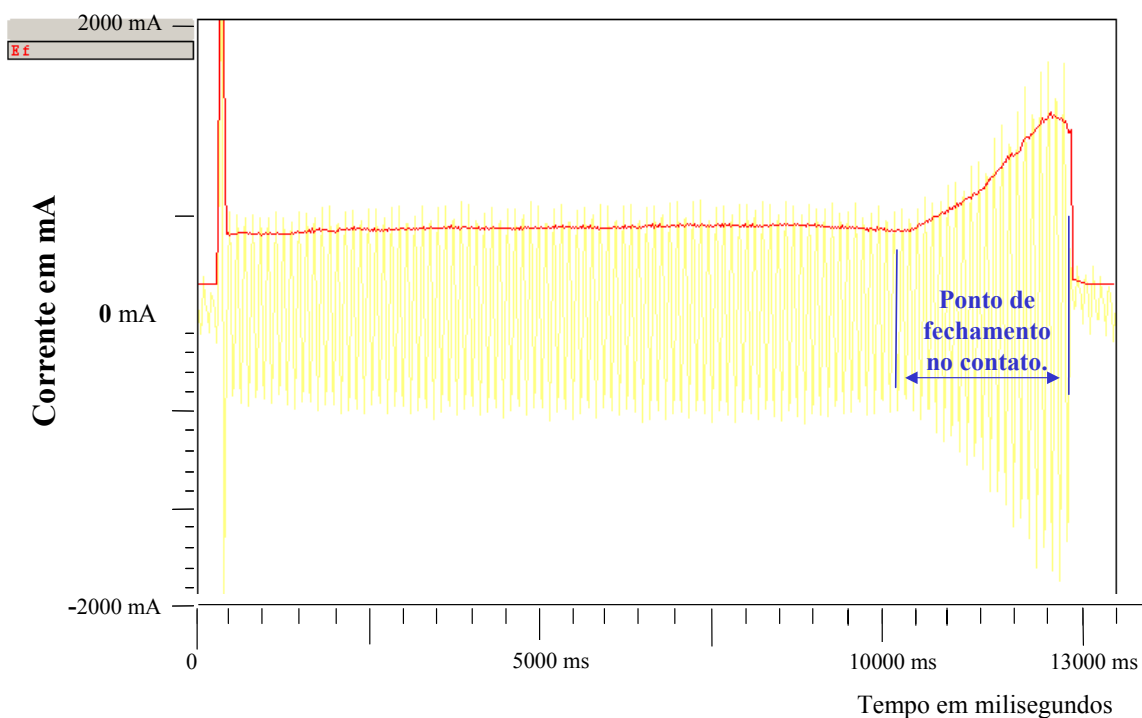


Figura 4-14 – Gráfico do ajuste final da CS 671 SEJOI.

Este fato evidencia a importância do método proposto neste trabalho que possibilita a análise gráfica, bem como a fidelidade do mesmo. Mesmo não possuindo uma primeira curva desta seccionadora, e muito menos de outra do mesmo modelo, o método já ajudou na solução de problemas até então não detectados.

É importante esta constatação, pois a cada comando poderia ser inserido um pequeno desajuste, o que com o passar do tempo, poderia apresentar um problema maior, além de um desgaste excessivo do motor.

4.2.4 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DAS CHAVES SECCIONADORAS 673 138KV

Foram realizados vários comandos de abertura e fechamento nas chaves seccionadoras e utilizado o método que aqui já denominamos de ASCM (Análise da Seccionadora pela Corrente do Motor) para análise durante os testes da CS 673, o primeiro comando elétrico, a mesma desligou no meio do curso indevidamente. Surgiu então a dúvida se o problema era proveniente de defeito de intertravamento elétrico ou algum travamento mecânico. Observa-se então pela análise dos gráficos da Figura 4-15 que a falha se deu após um aumento significativo da corrente do motor:

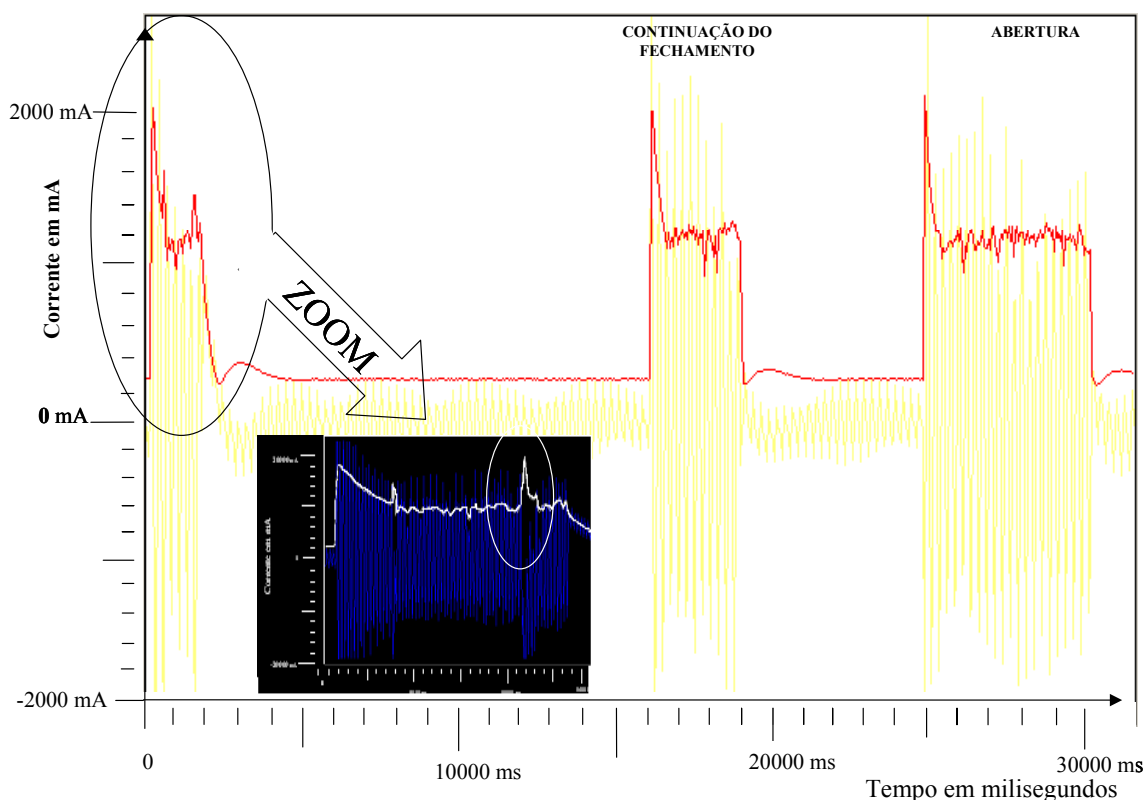


Figura 4-15 – Gráfico do primeiro comando na CS673 SE JOI. Pode-se observar que na parada no meio do curso de fechamento houve um aumento de corrente significativo, maior até mesmo que a corrente de partida.

OBS: A coleta dos dados foi na entrada da alimentação geral e pode estar coletando também o consumo dos relés quando atacam. Observe que ao final de cada comando existe uma pequena curva que são referentes ao consumo dos relés realizando as comutações finais.

Chega-se então aos possíveis defeitos:

- Poderia ter ocorrido um pequeno travamento das engrenagens internas dos redutores, pois a presença de pó e principalmente de insetos mortos nas engrenagens era considerável.
- Poderia também ter ocorrido uma queda de tensão que viesse a provocar este desligamento devido à perda do contato de selo elétrico do relé, e durante esta queda de tensão, teríamos um aumento significativo de corrente sem atuação do relé térmico, mas aqui ficam os seguintes questionamentos:
 - a) Que queda de tensão poderia ocorrer a ponto de desenergizar um relé e aumentar tanto a corrente do motor?
 - b) Como poderíamos ter este fato numa subestação, onde podemos afirmar que temos uma barra infinita?
 - c) Porque não foi necessário executar o reset do relé térmico do motor?

Estes questionamentos levaram a uma análise do esquema elétrico. Ao analisar o esquema elétrico, verificou-se a existência de um relé chamado “UVR” (relé de subtensão) que atua desligando o sistema por subtensão, e aí neste caso não necessita de *reset*, onde concluiu-se que foi o ocorrido, ou seja, a sujeira nas engrenagens observadas na Figura 4-17 provocaram algum travamento mecânico, causando um aumento instantâneo e significativo da corrente elétrica do motor como observa-se no detalhe do gráfico da Figura 4-15, causando um afundamento da tensão, percebida pelo relé UVR, que desligou o motor.

Após limpeza, a CS-673 opera normalmente conforme Figura 4-16:

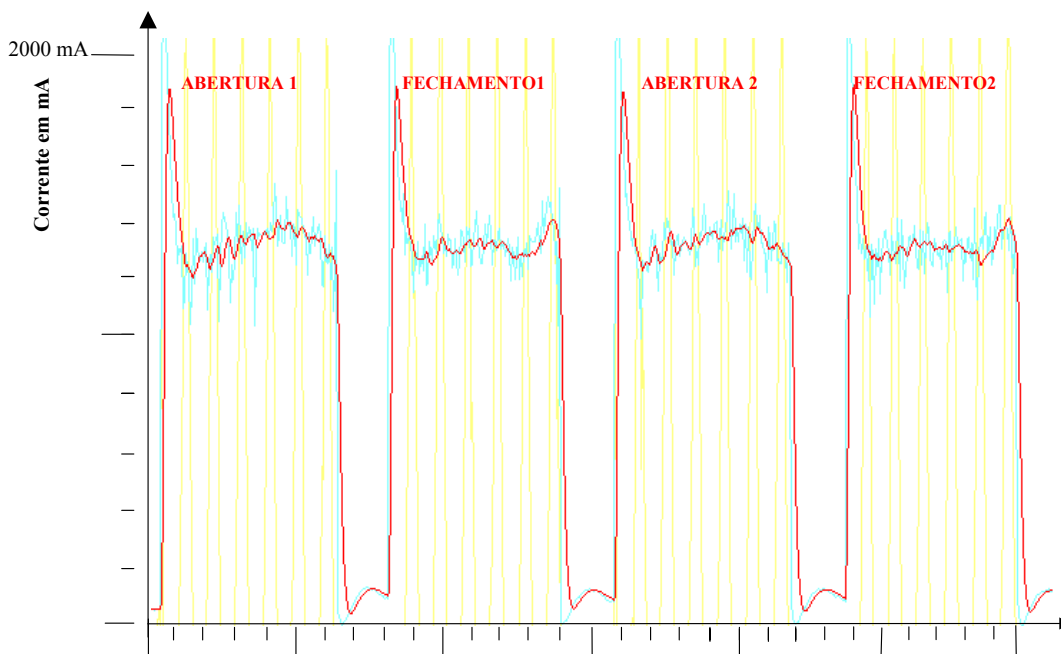


Figura 4-16 – Gráfico dos comandos da CS 673 SEJOI após limpeza da caixa de comando.

Concluindo, observa-se que após a falha e limpeza, todos os comandos foram aceitos normalmente e os dados então parecem normais, indicando um bom estado da chave.

Foi então proposto prorrogar a manutenção desta chave por mais 2 anos.

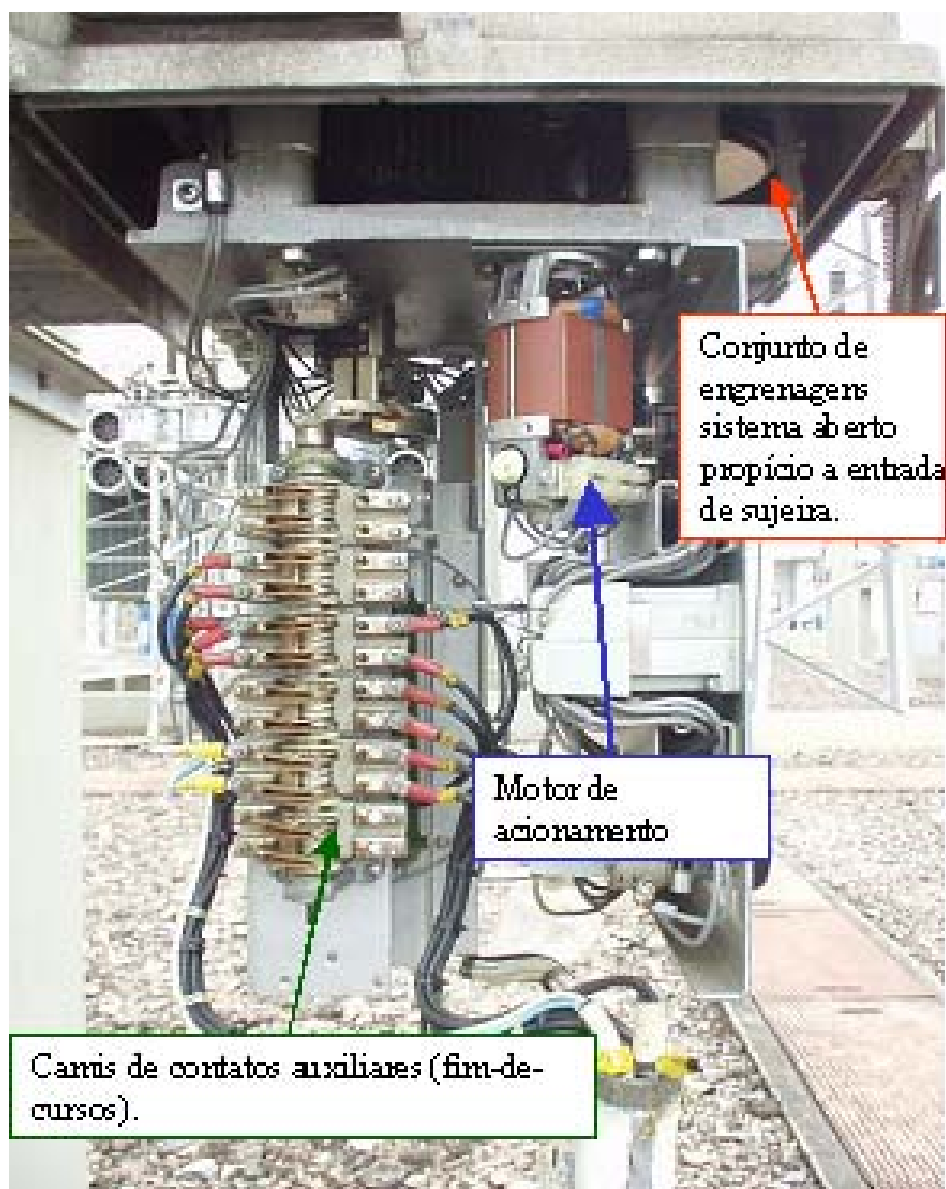


Figura 4-17 – Detalhe da caixa de comando das seccionadoras 673 e 671.

4.2.5 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DA CHAVE SECCIONADORA 671 138KV

Foram executados alguns comandos de abertura e fechamento nesta chave seccionadora e percebe-se um agarramento durante todo o percurso, pois a análise gráfica pelo método ASCM nos mostra que as curvas embora sejam parecidas com as da chave 673, possuem valores muito acima conforme a Figura 4-18. Nesta figura observa-se claramente que existe um agarramento em um dos mancais principais, pois todo o conjunto possui uma corrente muito elevada, quando comparada com a CS 673. A CS673 trabalha entre 1200 e 1250 mA, já esta trabalha entre 1800 e 2000mA.

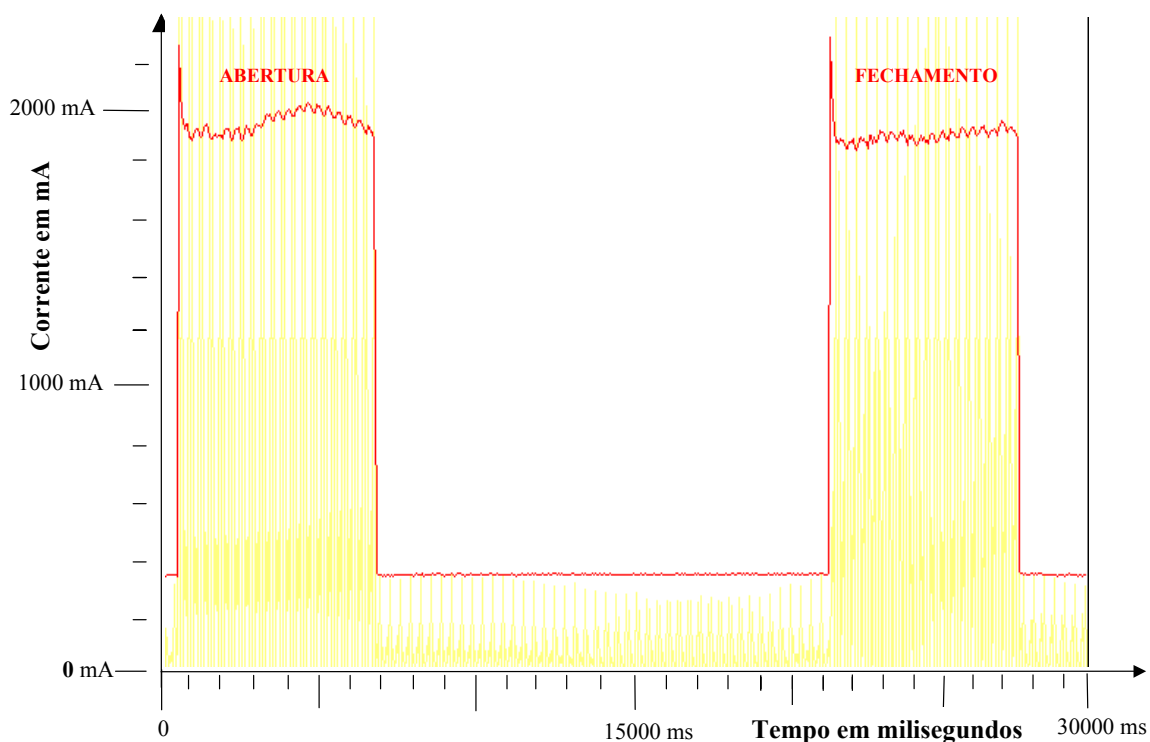


Figura 4-18 – Análise do primeiro comando da CS 671 SEJOI.

Desacoplou-se a chave e executou-se nova medida a fim de verificar se o agarramento estava na chave propriamente dita ou na caixa de comando e redução. E conforme a Figura 4-19, verifica-se que o sistema continuava pesado, o que indicava problemas na caixa de comando e redução. Na Figura 4-19, observa-se claramente que continua um agarramento pois ainda possui uma corrente muito elevada, quando comparada com a CS 673 da Figura 4-16.

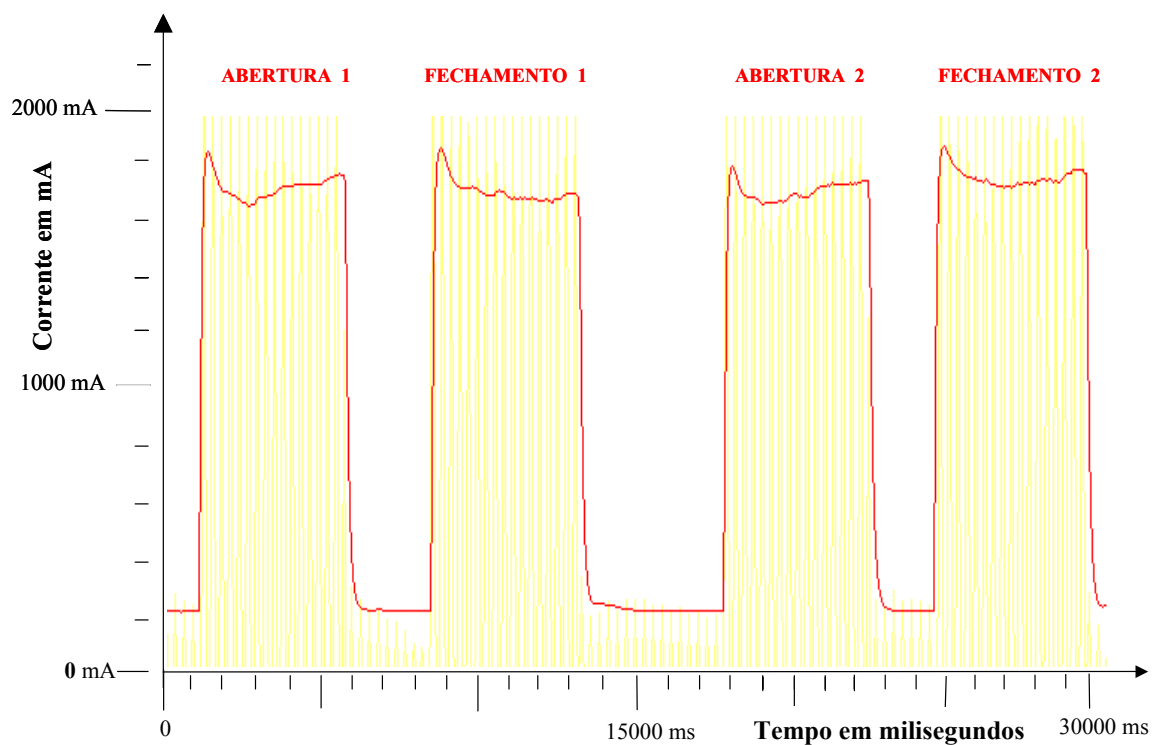


Figura 4-19 – Análise da CS 671 SEJOI desacoplada. Apenas a caixa de comando e redução.

A chave 671 está com o comando pesado demais e a caixa de comando deve ser substituída.

Uma vez substituída a caixa de comando, foi proposto prorrogar a manutenção preventiva desta chave por mais 2 anos.

Verifica-se que o método ASCM mais uma vez auxiliou na descoberta de defeito não perceptível a olho nu no caso da CS673.

É imprescindível modificar a caixa do comando de forma a impedir entrada de pó e objetos estranhos diretamente nas engrenagens engraxadas.

4.2.6 VERIFICAÇÃO DO ESTADO DA CHAVE SECCIONADORA 731 230KV

Executou-se um comando de abertura nesta chave que parecia operar normalmente, porém a partir da análise da Figura 4-20, observa-se que existe uma sobrecarga excessiva no final deste comando. No campo (in loco), observou-se que a mesma embora o fim de curso abrisse normalmente, o contactor de comando de abertura continuava atracado. Após pequena busca, verificou-se que o contactor estava com um remanescente de magnetismo que o mantinha atracado mesmo depois de retirada de tensão em sua bobina. Foi trocado o mesmo, e a chave passa então a operar normalmente como se observa na análise da Figura 4-22. Este tipo de defeito apenas foi observado após a análise do gráfico da Figura 4-20.

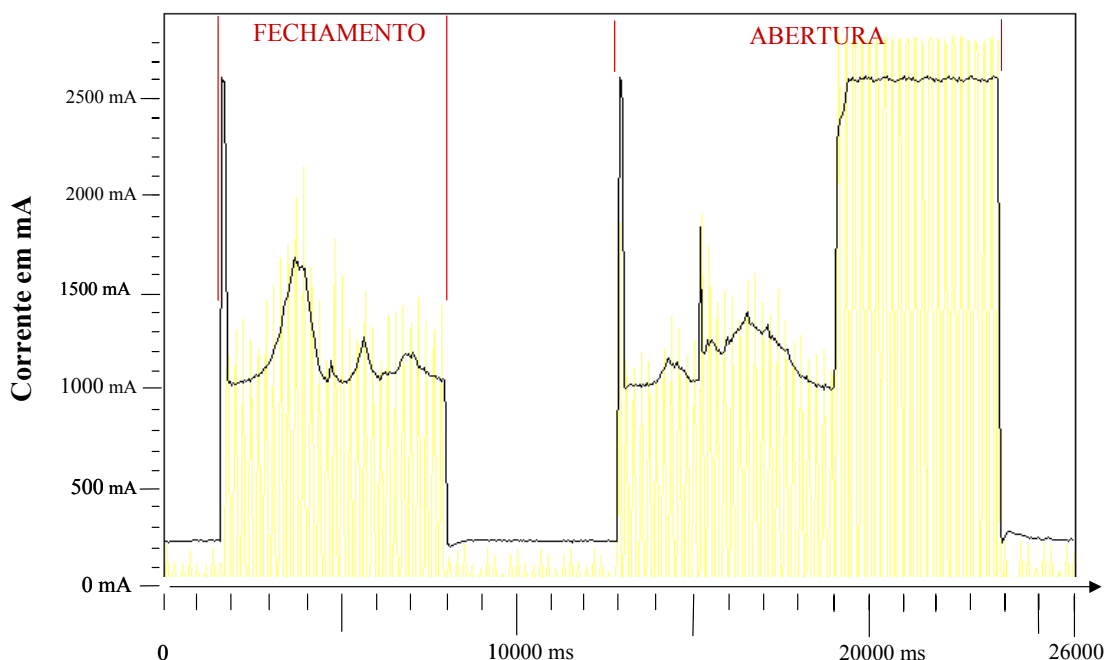


Figura 4-20 - Gráfico do comando de fechamento seguido de abertura da CS731 SE Palhoça.

Pode-se observar pela Figura 4-21, a troca do contactor, embora não tenha sido encontrado um contactor idêntico. Na Figura 4-22 já podemos observar que o comando passa a ser normal. Vale lembrar que este tipo de defeito seria normalmente observado à distância, caso tivéssemos este sistema interligado numa rede, além de que, caso não fosse identificado este defeito, com certeza o tempo de remanescência do contactor iria aumentar gradativamente e conseqüentemente provocar o desarme do relé térmico, ou até mesmo a queima do motor.

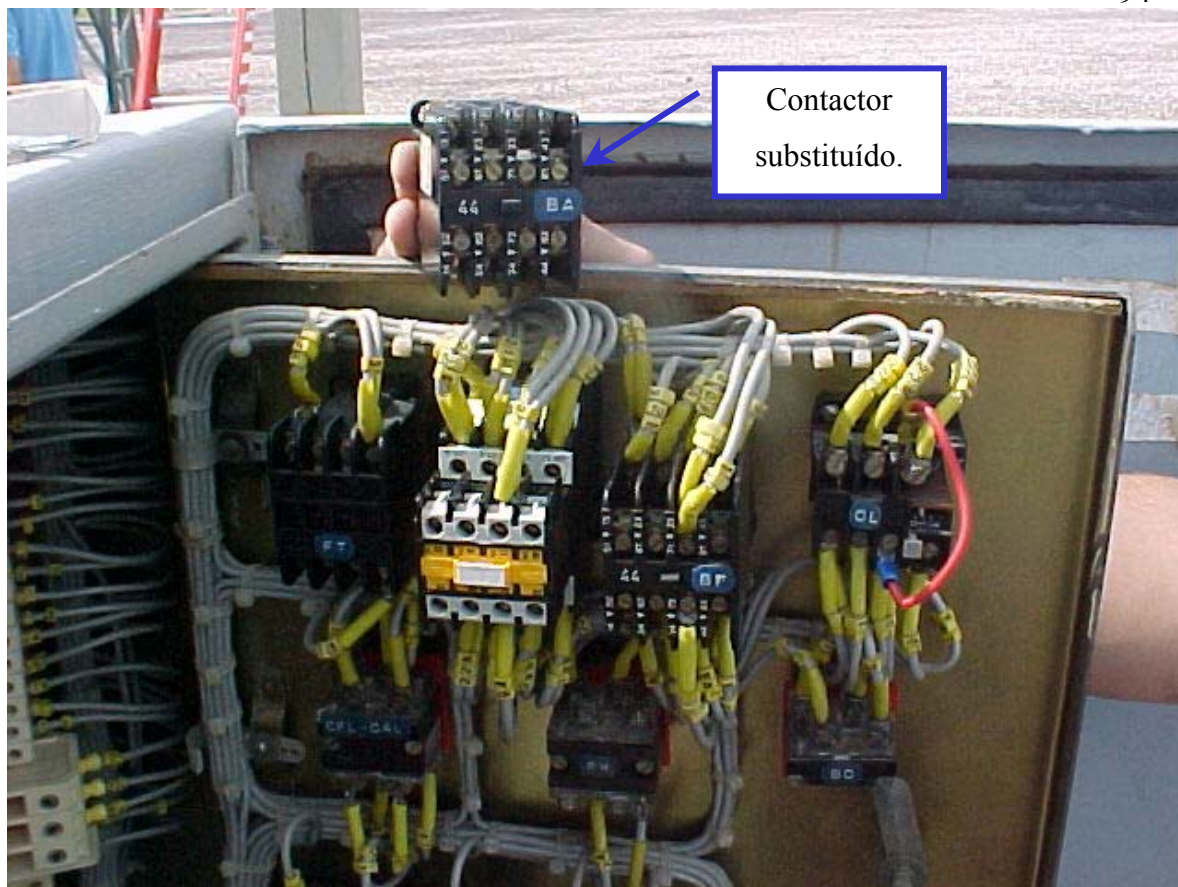


Figura 4-21 - Detalhe da troca do contactor na CS 731 da SE PAL.

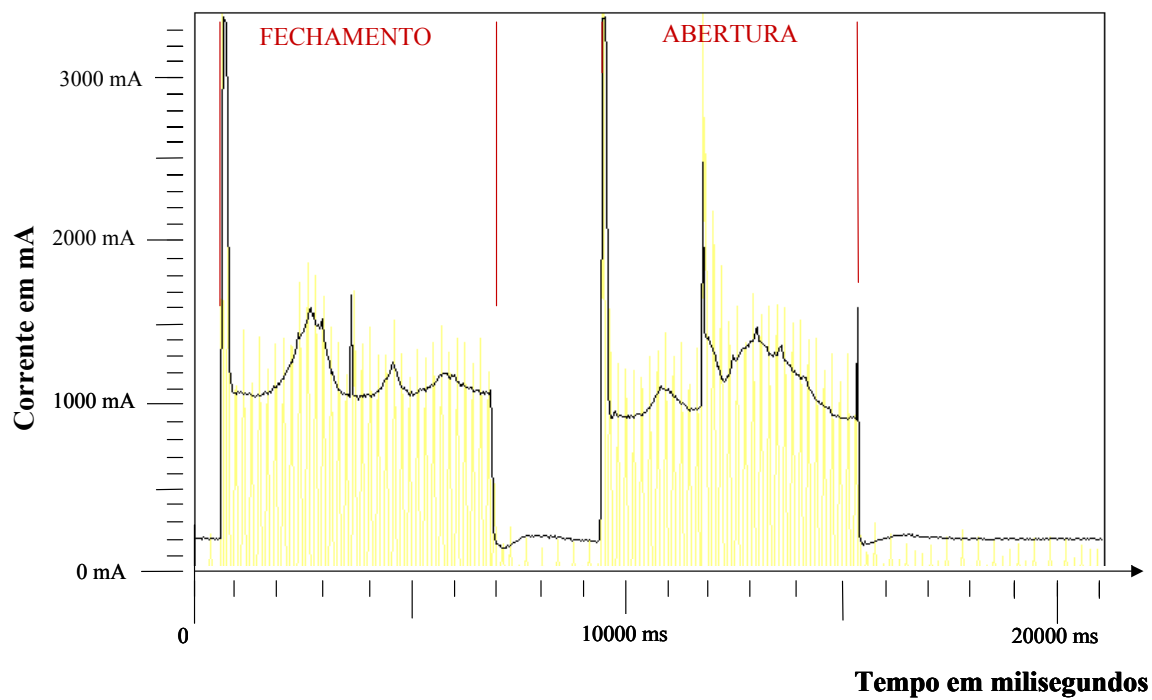


Figura 4-22 - Gráfico do comando da CS737 da SE PAL após troca do contactor.

5 DISCUSSÃO, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O sistema desenvolvido neste trabalho poderá ser usado nas manutenções de chaves seccionadoras das subestações de energia elétrica, pois o mesmo mostrou que em sua simplicidade, traz benefícios importantes.

A metodologia inicial “análise da assinatura do valor eficaz”, mostra uma simplicidade muito grande na análise, o que permite que qualquer técnico possa usar estas ferramentas, e este foi o motivo da insistência nesta metodologia a qual foi aqui denominada de “Assinatura da Corrente Elétrica do motor de acionamento”.

Muitas vezes foi possível observar que o defeito seria normalmente constatado à distância, caso este sistema fosse interligado numa rede, além de que alguns defeitos identificados utilizando a técnica de “Análise da Assinatura da Corrente Elétrica do motor de Acionamento” (Ver ítem. 5.2.3 ajuste da CS 733 da LAELC), com certeza demorariam a serem evidenciados a partir dos procedimentos convencionais usados atualmente, e com o passar do tempo poderia aumentar gradativamente e conseqüentemente provocar uma falha mais grave.

Verificou-se também que em vários casos, o processo permitiu atacar apenas no ponto defeituoso, diminuindo o tempo de manutenção e aumentando o intervalo da manutenção preventiva; em alguns casos a manutenção preventiva da referida chave foi prorrogada em dois anos. Entende-se que com os resultados aqui obtidos, a manutenção preventiva no caso de chaves seccionadoras, poderia ser repensada.

O fato de usar a corrente elétrica do motor e não sua potência, por exemplo, permitiu uma percepção maior das ocorrências, pois quando ocorre uma variação de torque, tem-se a necessidade de variação de potência, mas esta fica limitada à capacidade do sistema em fornecer a mesma, ou seja o aumento da corrente elétrica pode promover uma queda de tensão no sistema, como foi o caso citado no item 5.2.4 e, neste caso, a variação de potência seria de certa forma muito pequena, e poderia ser disfarçada nos levando a pensar que fosse um simples peso mecânico característico daquele equipamento naquele ponto. Entretanto, na análise a partir da corrente elétrica do motor de acionamento, consegue-se observar o fato real com precisão.

Outro ponto importante são os tempos de amostragem, o sistema proposto trabalha com 2000Hz, ou seja, uma leitura a cada 0,5ms. Assim, a frequência escolhida permite

observar com precisão qualquer variação brusca de corrente, dando condições de se analisar os fatos como ilustrados nos testes realizados, a apresentados no Capítulo 5.

A alta taxa de amostragem associada à precisão da leitura necessária obrigou a desenvolver um sistema de coleta de dados, pois os disponíveis no mercado eram de custo elevado. Com o desenvolvimento do sistema de instrumentação podem-se observar as necessidades de cada ponto do sistema e assim desenvolver um sistema praticamente dedicado, com possibilidade de expansão para outras finalidades tais como (e.g., análises de outros equipamentos tais como comutadores de taps de transformadores, disjuntores, correias transportadoras, e outros equipamentos acionados por motores elétricos), ao contrário do que aconteceria caso tivesse sido adquirido um sistema comercial.

Como sugestão seria interessante que a metodologia e o formato COMTRADE hoje normalizado apenas na IEEE, fosse investigado para normalização também em nossas normas brasileiras.

5.1 CONCLUSÕES

- As chaves seccionadoras possuem características (variação de torque mecânico em função do ponto em que se encontra) próximas, quando se tratam de um mesmo modelo.
- A análise de variação de torque em motores elétricos se mostra mais sensível (pequenas variações são mais evidentes), quando se analisa a variação a corrente elétrica ao invés da potência elétrica consumida por este motor.
- A frequência de amostragem e a resolução necessárias para as análises, são fatores muito importante quando se pensa em realizar testes comparativos, pois as variações neste caso, devido à grande redução mecânica são extremamente pequenas mas podem ser bruscas.
- A metodologia implementada neste trabalho permite obter informações importantes relacionadas à operação de chaves seccionadoras de alta tensão, as quais podem, utilizando técnicas de processamento digital de sinais mais sofisticadas (e.g. análise espectral), associadas a técnicas de inteligência artificial, fornecer o ponto exato do defeito.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

- Após estas análises, todos os dados coletados poderão ser utilizados para estudar e desenvolver outros métodos de análise como a análise no domínio de frequência.
- Este método e esta ferramenta desenvolvida poderão ser expandidos para análises de outros equipamentos tais como comutadores de taps de transformadores, disjuntores, correias transportadoras, e outros equipamentos acionados por motores elétricos.
- Desenvolver metodologias baseadas em técnicas de inteligência artificial para a análise automática dos tipos e localização dos defeitos.
- Monitoração remota do estado bem como da operação da chave seccionadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ONS e ELETROSUL - *CPST Contrato De Prestação De Serviços De Transmissão nº 011/99*. Contrato celebrado entre ONS e ELETROSUL. Brasília 31 de Agosto de 1999. 26p.
- [2] ONS - *Procedimento de Rede*. Disponível em <http://www.ons.org.br/ons/procedimentos/index.htm> (24/11/2002). Acompanhamento da manutenção – submódulo 16.1 0 - (Março 2002).
- [3] ELETROSUL - *Apostila do Curso de Disjuntores e Seccionadores De Furnas*. Apostilas internas da Eletrosul. (Jan/ 1985).
- [4] ELETROSUL - *Apostila do Curso de Subestações da Eletrosul*. Apostilas internas da Eletrosul. (Set/1983).
- [5] MANUAL DE INSTRUÇÕES DE FABRICANTES. (Brush Power, Harvey Hubbel, Spig, Iafa, Aeg-Telefunken, Alcace, Asea, Brown Boveri, Camargo Correa, Ceme, Delle Alsthom, Galileo, Gould, Harvey Hubbell, Laelc-Inducon Ind & Com, Line, Lorenzetti, Marini & Daminelli)
- [6] INSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO – *Chaves Seccionadoras $\leq 69kv$* – II/CS/001. Normas internas da Eletrosul. (Fev/1981).
- [7] INSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO – *Chaves Seccionadoras $\geq 69kv$* – II/CS/002. Normas internas da Eletrosul. (Out/1985).
- [8] ABNT - NBR 6935 –10. *Secionador, chaves de terra e aterramento rápido*. (JAN/1985).
- [9] REASON SISREP – *Software desenvolvido pela Reason*. Disponível em <http://www.reason.com.br/produtos/sisrep.htm>,
- [10] IEEE - *Standard Common Format for Trasient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems* – IEEE C37.111-1991 Normas para armazenamento de dados em sistemas elétricos. (1991)
- [11] BARBI, Ivo - *Teoria Fundamental do Motor de Indução* – Editora da UFSC, ELETROBRÁS. Florianópolis (1985), 234p.

- [12] FUPAI - Márcio Tadeu de Almeida (Escola Federal de Engenharia de Itaju) *Apostila curso Análise de Vibração na Manutenção Preditiva de Motores Elétricos* (Julho/2001).
- [13] HAWARD, D.Haynes Kiongston and EISSEMBERG, David M. and RIDGE Oak, both of team. - *Motor Current Signature Analyssys Mothod For Diagnosing Motor Operated Devices* United States Patent [19]. (1988)
- [14] ALSTOM – *Catálogo de serviços*. Disponível em <http://www.technology.alstom.com/en/programmes/system.htm> com o sistema de análise de estado de chave seccionadoras.
- [15] MARQUES, Jefferson Luiz Brum, PhD (IEB/UFSC) & BRAZ, Gustavo Prado - APOSTILA EEL7300 – *Eletrônica Aplicada Conteúdos Para A Prática*. EE (IEB/UFSC), (Florianópolis, Set 2002) - 134 pag..
- [16] SPURLING, Kerry and ELKIN, Poul - *Automation Simplifies Substation Operations* da revista. “Transmission & Distribution World (June 1999)”.
- [17] ELETROSUL - *Trabalho interno executado pela Eletrosul no telecontrole das subestações* . Apostilas internas da Eletrosul. (Jan/1998).
- [18] SMITH, Steven W. - *The Scientis And Engineer's Guide To Digital Signal Processing Site* (www.DSPguide.com) (2002)
- [19] OPPNHEIM, Alan V. and WILLSKY, Alan S. With YOUNG, Yan T. - *Signals And Systems*.
- [20] JOÃO Bosco Macino de Oliveira et al Kunsch ANÁLISE MAGNÉTICA DE MOTORES C.A. (ESPECTRO DE CORRENTE)
- [21] Haynes et al., *Motor Método de Análise de Assinatura Atual por Diagnosticar Motor Operado Dispositivos*, Estados Unidos Patente Número 4,965,513.
- [22] Apostila do curso MÁQUINAS ELETRICAS - 1171 A 2o. Semestre 2002 - Prof. Dr. Paulo R. de Aguiar – Engenharia Elétrica da UNESP.