



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica
Departamento de Ciência da Computação do Instituto de
Matemática
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MECATRÔNICA

FRANCISCO DAS CHAGAS DE OLIVEIRA FILHO

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MONITORAMENTO E
PREDIÇÃO DE FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

Salvador
2007

FRANCISCO DAS CHAGAS DE OLIVEIRA FILHO

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA
MONITORAMENTO E PREDIÇÃO DE FALHAS EM
MOTORES ELÉTRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Mecatrônica, Departamento de Engenharia Mecânica e Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Iuri Muniz Pepe

Salvador
2007

O48s

Oliveira Filho, Francisco das Chagas de
Sistema de aquisição de dados para monitoramento e predição de falhas
em motores elétricos / Francisco das Chagas de Oliveira Filho. - Salvador, 2007.

--- f. : il.

Orientador : Prof.Dr. Iuri Muniz Pepe
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2007.

1.Motores elétricos. 2.Localização de falhas (Engenharia). I. Pepe, Iuri Muniz.
II.Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. III. Título.

CDD 20.ed. 621.313

TERMO DE APROVAÇÃO

FRANCISCO DAS CHAGAS DE OLIVEIRA FILHO

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA
MONITORAMENTO E PREDIÇÃO DE FALHAS EM MOTORES
ELÉTRICOS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Herman Augusto Lepikson

Doutor em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Universidade Federal da Bahia

Iuri Muniz Pepe – Orientador

Doutor em Física Nuclear, Universidade Católica de Louvain – Bélgica
Universidade Federal da Bahia

Jorge Nei Brito

Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Universidade Federal de São João Del Rei, MG

Salvador, 19 de dezembro de 2007.

Aos meus pais e tias por terem me mostrado o valor do conhecimento.

A minha esposa, pelo incentivo e paciência.

Aos meus filhos, pela oportunidade que me deram de repetir os ensinamentos dos meus pais e tias,

e,

Ao Ser Superior por me guiar em toda minha trajetória de vida.

AGRADECIMENTOS

As entidades e empresas: LaPo/IF/UFBA, Politeo, Braskem, WEG e Siemens, que disponibilizaram o laboratório, entenderam as minha ausências ao trabalho e forneceram equipamentos essenciais ao desenvolvimento deste projeto.

Ao meu orientador, Dr. Prof. Iuri, por sua atuação permanente, apóio e engajamento no projeto.

À turma do LaPO, que me acolheu e me fez me sentir em casa.

A minha família, pela renúncia neste período.

A todas as pessoas, que são tantas, que contribuíram de forma material, intelectual ou psicológica para a realização deste projeto.

O óbvio é aquilo que ninguém enxerga, até que alguém o expresse com simplicidade.

Khalil Gibran

Saber que sabemos o que sabemos, e saber que não sabemos o que não sabemos, isso é conhecimento verdadeiro.

Copérnico

A única fonte de conhecimento é a experiência.

Albert Einstein

A vida não examinada não vale a pena ser vivida.

Sócrates

RESUMO

Os motores elétricos são responsáveis por grande parte do consumo de energia elétrica na indústria (49%) e desempenham funções importantes que podem contribuir para o aumento da eficiência operacional deste setor da economia. Por outro lado, a disponibilidade operacional das indústrias, pode ser comprometida pelas falhas dos motores elétricos que acionam os equipamentos de processos. A identificação destas falhas na fase inicial é fator determinante para evitar a degradação do equipamento que pode levar a sua quebra. Um sistema de monitoramento capaz de detectar os mecanismos de falha em fase inicial, é uma ferramenta de grande valor para a manutenção, na medida que pode antecipar ações que evitem as paradas não planejadas, trabalhando com foco no planejamento, manutenibilidade e aumento do *Mean Time Between Failures* (MTBF). Este trabalho apresenta uma proposta tecnológica inovadora, através de um sistema automático de aquisição de dados com *Personal Computer* (PC), via porta paralela para monitoramento de motores elétricos de baixa tensão. O sistema se baseia na medição da resistência de isolamento como meio de verificar a isolação do motor e na medição das impedâncias entre fases de forma a avaliar os processos de falha nas bobinas. São descritos de forma detalhada, os fundamentos teóricos usados para a escolha das variáveis a serem monitoradas e os experimentos realizados tanto com instrumentos de bancada como com a interface montada. Da mesma forma, o *hardware* e *software* desenvolvido estão bem documentados com detalhamento dos circuitos e do código escrito em Visual Basic (VB). Os dados coletados foram tratados com ferramentas estatísticas e se apresentaram consistentes, com alta repetibilidade das medidas e precisão compatível com os objetivos do projeto.

Palavras Chaves: Aquisição de dados; Motores Elétricos; Falhas; Monitoramento.

ABSTRACT

Electric motors are responsible for a large share of electric energy consumption in the industry (around 49%) and they play important roles that can contribute to increasing the operational efficiency of this sector of the economy. On the other hand, industry operational availability can be severely affected due to failure rate of electric motors that drive process equipments. Identifying these failures in their initial phase is a key factor to avoid the degradation of the equipment that can lead to its breakdown. A monitoring system that can predict failure patterns in their inception is a valuable tool for the maintenance area that, this way, might avoid unscheduled plant shutdowns and therefore work focusing planning, maintainability and MTBF increase. This paper presents an innovative technological proposal, through an automatic data acquisition system that applies the parallel port of PC for monitoring low voltage electric motors. This system is based on the measurement of insulation resistance as a manner to check motor insulation and on the measurement of impedances between phases in order to evaluate the failure processes in the windings. It also describes in details the theoretical bases that were used to define the parameters to be monitored and the experiments to be carried out with laboratory instruments as well as with the system developed. In the same way, the hardware and software that were developed are well documented with circuit detailing and code writing in Visual Basic. The collected data were scrutinized with statistical tools, yielding consistent results with high repeatability of measurements and accuracy compatible with the project objectives.

Keywords: Data Acquisition; Electric Motors; Failures; Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Consumo de energia elétrica no Brasil - nov. 2004 à out. 2005	20
Figura 2.1 – Descargas parciais	27
Figura 2.2 – Bobina para captura do fluxo magnético	29
Figura 2.3 – Fator de potência da Isolação	33
Figura 2.4 – Diagrama do sistema de isolamento off-line	34
Figura 2.5 – Termograma de um motor – Site Termonautas	36
Figura 3.1 – Classificação geral de motores elétricos	40
Figura 3.2 – Classificação detalhada de motores elétricos	41
Figura 3.3 – Força eletromagnética	43
Figura 3.4 – Distribuição das bobinas no estator	43
Figura 3.5 – Sistema trifásico de alimentação	44
Figura 3.6 – Formação do campo girante	44
Figura 3.7 – Circuito equivalente do MIT	45
Figura 3.8 – Chapa do estator	46
Figura 3.9 – Pacote magnético do estator	46
Figura 3.10 – Estator	47
Figura 3.11 – Condutores da gaiola de esquilo	47
Figura 3.12 – Rotor em corte	47
Figura 3.13 – Rotor tipo gaiola de esquilo em corte	48
Figura 3.14 – Componentes do Motor de Indução Trifásico	49
Figura 3.15 – Representação da isolação do motor	49
Figura 3.16 – Comportamento da isolação ao potencial contínuo	50
Figura 3.17 – Impedância e resistência em função do número de espiras	52
Figura 3.18 – Distribuição de motores por tipo	53
Figura 3.19 – Estatística de falhas em motores elétricos – EPRI	54
Figura 3.20 – Estatística de falhas em motores elétricos – IEEE	57
Figura 4.1 – Vista frontal da caixa de conexões	59
Figura 4.2 – Vista traseira da caixa de conexões	60
Figura 4.3 – Sistema de monitoramento	60
Figura 4.4 – Diagrama dos bobinados	63
Figura 4.5 – Bobinado com derivações	63

Figura 4.6 – Conectores da porta paralela (lado direito DB-25 e esquerdo <i>Centronics</i>)	65
Figura 4.7 – Diagrama esquemático do ADS7804AP	67
Figura 4.8 – Distribuição dos pinos do ADC	67
Figura 4.9 – <i>Buffer</i> 74LS244	68
Figura 4.10 – <i>Latch</i> 74LS374	69
Figura 4.11 – Decodificador 74LA138	70
Figura 4.12 – Tabela Verdade do 74LS138	70
Figura 4.13 – Diagrama esquemático do ML2035	72
Figura 4.14 – Formas de onda no gerador de senóide	73
Figura 4.15 – Esquemático do Amplificador	74
Figura 4.16 – Curvas características de diodos	75
Figura 4.17 – Retificador de precisão	75
Figura 4.18 – Curva de transferência de um diodo de junção	76
Figura 4.19 – Fluxograma das rotinas de aquisição	79
Figura 4.20 – Tela Inicial do SMAM	80
Figura 4.21 – Resistor de <i>pull up</i>	81
Figura 4.22 – Botões de análise	83
Figura 4.23 – Caixa de diretório	84
Figura 4.24 – Retorno ao botão de comando <Ultima Medida>	84
Figura 4.25 – Gráfico de barras de RI	85
Figura 4.26 – Tendência para valor mínimo	85
Figura 4.27 – Espectro de Impedância	86
Figura 4.28 – Gráfico ampliado de espectro de impedância	87
Figura 4.29 – Histórico de desvio de impedância	87
Figura 4.30 – Desvio de impedância	88
Figura 4.31 – Tendência de desvio de impedância	88
Figura 4.32 – Variação da tensão medida	91
Figura 5.1 – Variação da resistência de isolamento	93
Figura 5.2 – Efeito da umidade sobre a resistência de isolamento	94
Figura 5.3 – Recuperação da resistência de isolamento	94
Figura 5.4 – Efeito da aplicação de ar comprimido e ar quente	95
Figura 5.5 – Motor-2 em delta sem defeito em bancada e com o sistema de monitoramento	97
Figura 5.6 – Motor-1 em delta sem defeito em bancada e com o sistema de	98

monitoramento	
Figura 5.7 – Motor-2 em delta com defeito em bancada e com o sistema de monitoramento	99
Figura 5.8 – Variação da impedância do motor-1 em relação a média	100
Figura 5.9 – Impedância das três fases do motor-1	101
Figura 5.10 – Impedância de uma fase do motor-1	101
Figura 5.11 – Motor-2 sem defeito testado com o sistema de monitoramento a 60 Hz	102
Figura 5.12 – Impedância das três fases do motor-2	103
Figura 5.13 – Impedância de uma fase do motor-2	104
Figura 5.14 – Impedância das três fases do motor-3	105
Figura 5.15 – Impedância de uma fase do motor-3	105
Figura 5.16 – Desvio da média do motor-2 sem defeito	106
Figura 5.17 – Desvio da média do motor-2 com 2,95% de espiras em curto-circuito	107
Figura 5.18 – Desvio da média do motor-2 com 5,05% de espiras em curto-circuito	108
Figura 5.19 – Desvio da média do motor-2 com 3,41% de espiras em curto-circuito	108
Figura 5.20 – Desvio da média do motor-2 com 8,18% de espiras em curto-circuito	109
Figura 5.21 – Desvio da média do motor-2 com 8,75% de espiras em curto-circuito	109
Figura 5.22 – Desvio da média do motor-2 com 47,73% de espiras em curto-circuito	110
Figura 5.23 – Impedância do motor-2 sem defeito	111
Figura 5.24 – Impedância do motor-2 com defeito	111
Figura 5.25 – Impedância do motor-2 com sucessivos defeitos	112
Figura 6.1 – Sistema de monitoramento automático de vários motores	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Taxas de falhas de motores elétricos	21
Tabela 2.1 – Tensões de teste segundo (sdt-43)	30
Tabela 2.2 – Mínimos valores de IP segundo (sdt-43)	30
Tabela 2.3 – Mínimos valores de RI segundo (sdt-43)	30
Tabela 2.4 – Resumo das técnicas disponíveis	39
Tabela 3.1 – Solicitações a que estão submetidos os motores elétricos	55
Tabela 3.2 – Componentes dos motores elétricos x <i>stress</i>	56
Tabela 4.1 – Características dos Motores	58
Tabela 4.2 – Defeitos introduzidos	63
Tabela 4.3 – Pinagem da porta paralela	65
Tabela 5.1 – Dados de Resistência de Isolamento	92
Tabela 5.2 – Seqüência de Testes de Impedância	96
Tabela 5.3 – Estatística das medidas de impedância do motor-1	99
Tabela 5.4 – Estatística das medidas de impedância do motor-2	102
Tabela 5.5 – Estatística das medidas de impedância do motor-3	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACE	Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e Consumidores Livres
Abraman	Associação Brasileira de Manutenção
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
AI	<i>Artificial Intelligence</i>
AIChE	<i>American Institute of Chemical Engineers</i>
AT	Alta Tensão
BIOS	<i>Basic Input Output System</i>
BT	Baixa Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CI	Circuito Integrado
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
DIP	<i>Dual In-Line Package</i>
DP	Descargas Parciais
ECP	<i>Extended Capabilities Port</i>
EPP	<i>Enhanced Parallel Port</i>
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
F	Frequência em Hertz
FET	<i>Field Effect Transistor</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FP	Fator de Potência da Isolação
GWh	Giga Watt Hora
Hz	Hertz
I/O	<i>Input/Output</i>
IA	Índice de Absorção
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	Índice de Polarização
kHz	Kilo Hertz
kV	Kilo Volt
k Ω	Kilo Ohm
L	Indutância em Henry
λ	Taxa de Falha em falhas/hora
LaPO	Laboratório de Propriedades Óticas
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LSB	<i>Least Significant Bit</i>
mA	Mili Ampere
μ F	Micro Farad
MCA	<i>Motor Circuit Analysis</i>
MCSA	<i>Motor Current Signature Analysis</i>
μ_0	Permeabilidade Magnética do Vácuo
μ_r	Permeabilidade Magnética do Ferro
MIT	Motor de Indução Trifásico
MST	<i>Most Significant Bit</i>
MT	Média Tensão

MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
mW	Mili Watt
MΩ	Mega Ohm
N	Newton
NA	Normalmente Aberto
NETA	<i>InterNational Electrical Testing Association</i>
NF	Normalmente Fechado
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
OC	<i>Output Controll</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCR	<i>Printer Control Register</i>
PDR	<i>Printer Data Register</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PSR	<i>Printer Status Register</i>
R	Resistência em Ohm
RAC	<i>Reliability Analysis Center</i>
RI	Resistência de Isolamento
rms	<i>Root Mean Square</i>
RNA	Redes Neurais Artificiais
ρ	Resistividade Ω.mm ² /m
SAR	<i>Successive Approximation Register</i>
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SE	Sistemas Especialistas
SO	<i>Small Outline</i>
SPP	<i>Standard Parallel Port</i>
TC	Transformador de Corrente
tg δ	Tangente de Delta
TO	<i>Transistor Outline</i>
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRG	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VB	<i>Visual Basic</i>
Wb	Webber
Z	Impedância em Ohm

SUMÁRIO

Capítulo 1 Introdução	18
1.1 O Problema	18
1.2 O Objetivo	18
1.3 A Solução do Problema	19
1.4 Justificativa	20
1.5 Organização do Trabalho	22
Capítulo 2 O Estado da Arte	24
2.1 Introdução	24
2.2 Propostas, Estudos e Inovações	24
2.3 Tecnologias	27
2.3.1 Descargas Parciais	27
2.3.2 Fluxo Magnético	28
2.3.3 Testes de Verificação da Condição	29
2.3.3.1 Resistência de Isolamento	29
2.3.3.2 Resistência Ôhmica	31
2.3.3.3 Tensão Aplicada	31
2.3.3.4 Teste de Impulso	32
2.3.3.5 Teste de Fator de Potência da Isolação	32
2.3.3.6 Isolamento <i>Off-line</i>	33
2.3.3.7 Análise de Vibração	34
2.3.3.8 Assinatura de Corrente	35
2.3.3.9 Termografia	35
2.3.3.10 Análise de Circuito de Motor	36
2.3.3.11 Ultra-som	38
2.3.4 Resumo das Tecnologias	38
Capítulo 3 Os Motores Elétricos	40
3.1 Introdução	40
3.2 Classificação	40
3.3 Princípio de Funcionamento	42
3.4 Campo Girante	43
3.5 Circuito Equivalente	45
3.6 Componentes	45
3.7 Fundamentação Teórica	49
3.8 Pesquisa Sobre a Utilização de Motores na Indústria	53
3.9 Processo de Falha	54
Capítulo 4 Desenvolvimento do Sistema	58
4.1 Introdução	58
4.2 Montagem Experimental	58
4.3 O Protótipo de Teste	60
4.4 Os Ensaios em Bancada	62
4.4.1 Espectro de Impedância	62
4.4.2 Resistência de Isolamento	64
4.5 <i>Hardware</i> Desenvolvido	64
4.5.1 Interface de Aquisição de Dados	64
4.5.2 Medição de Impedância	71
4.5.2.1 Gerador de Senóides	71

4.5.2.2	Amplificador	73
4.5.2.3	Condicionamento de Sinal	74
4.5.3	Medição de Resistência de Isolamento	77
4.5.4	Interface de Relés	77
4.5.5	Demarrador Tipo Industrial	77
4.6	<i>Software</i> Desenvolvido	78
4.6.1	Rotinas de Aquisição	78
4.6.1.1	Inicialização e Verificação de <i>Status</i>	80
4.6.1.2	Medição de Resistência de Isolamento	81
4.6.1.3	Medição de Impedância	82
4.6.1.4	Gerenciamento de Ciclo de Medição	83
4.6.2	Módulo de Análise	83
4.6.2.1	Avaliação da Resistência de Isolamento	83
4.6.2.2	Avaliação da Impedância	86
4.7	Integração <i>Hardware</i> e <i>Software</i>	88
4.7.1	Calibração do Sistema	89
Capítulo 5 Análise dos Resultados		92
5.1	Medição de Resistência de Isolamento	92
5.2	Medição de Impedância	95
5.2.1	Aspectos Gerais	95
5.2.2	Análise dos Dados Experimentais	96
5.2.2.1	Comparação Entre os Valores Medidos em Bancada e com a Interface Desenvolvida	96
5.2.2.2	Repetitividade das Medições	99
5.2.2.3	Avaliação da Sensibilidade do Sistema	106
Capítulo 6 Conclusões e Perspectivas		113
REFERÊNCIAS		116
APÊNDICES		120
ANEXOS		185

Capítulo 1 Introdução

1.1 O Problema

Os motores elétricos desempenham funções importantes dentro dos processos produtivos industriais e podem contribuir para a eficiência operacional deste setor da economia. As falhas destes equipamentos repercutem na continuidade operacional das plantas industriais e antecipar-se a estas falhas é atividade fundamental da manutenção.

Várias iniciativas têm sido tomadas no sentido de desenvolver dispositivos e/ou sistemas para testar, monitorar e prever falhas em motores elétricos. De forma geral estes sistemas são sensíveis a alguns modos de falha, ou seja, só cobrem alguns mecanismos de falha dos motores elétricos. Observa-se também, que a depender do tipo de motor, baixa tensão (BT), média tensão (MT) ou corrente contínua (CC), estão disponíveis mais ou menos recursos de manutenção preditiva, sendo que os motores de MT são os mais bem servidos por equipamentos comerciais. Outro aspecto importante é a possibilidade do monitoramento poder ser executado com o motor operando ou parado, de forma automática ou somente com a intervenção humana. Esta última condição é mais relevante em indústrias que operam em regime contínuo de produção, que não têm equipamentos redundantes e com equipes de manutenção cada vez mais enxutas.

Por outro lado, os sistemas de monitoramento de motores comerciais, são em sua maioria de tecnologia estrangeira, com altos custos de aquisição, além do custo com treinamento de pessoal e necessidade de atualização tanto de *hardware* como de *software*.

Diante do exposto, é possível concluir que os motores elétricos de baixa tensão são ativos industriais importantes e que existem lacunas a serem preenchidas no tocante ao monitoramento automático e previsão de falhas destes equipamentos.

1.2 O Objetivo

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Óticas (LaPO) do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (UFBA) com o

objetivo de desenvolver um sistema de aquisição de dados para monitorar e prever falhas em motores elétricos de BT.

A idéia foi reunir num só sistema (*hardware* e *software*), recursos capazes de coletar automaticamente os sinais e tratá-los de forma a detectar alguns mecanismos de falha. Conseqüentemente, é possível avaliar a saúde destes equipamentos elétricos, como meio de prever, ainda em um estágio inicial, possíveis falhas futuras. O sistema (*software*) deve ser dotado de alguma inteligência, mostrando tendências, acionando alarmes e/ou indicando o andamento dos processos de falha. Desta forma, pode-se disponibilizar uma potente ferramenta para os especialistas de manutenção na tomada de decisão. Espera-se com este sistema aumentar o MTBF dos motores elétricos e proporcionar condições para que as intervenções de manutenção sejam planejadas com antecedência (focando a mantabilidade). Como conseqüência, espera-se reduzir o tempo de indisponibilidade dos processos produtivos onde estes equipamentos estão inseridos e aumentar a confiabilidade geral das plantas industriais.

1.3 A Solução do Problema

A solução adotada foi o desenvolvimento de um sistema capaz de coletar dados para avaliar a resistência de isolamento e a impedância das bobinas dos motores de baixa tensão. Analisou-se a resistência de isolamento por meio da medição da corrente de fuga da isolação para massa, quando os enrolamentos do motor foram submetidos a alto potencial CC (500 V). Um largo espectro de impedância, dentro de uma faixa de freqüência previamente definida (30 à 1230 Hz), foi utilizado para verificar a condição dos bobinados com relação a curto-circuito entre espiras.

O sistema teve como requisitos básicos: trabalhar de forma automática, poder identificar processos de falha ainda na fase inicial, ter baixo custo, ser fácil de implementar, ser flexível, programável e poder trabalhar no ambiente industrial.

Para cumprir as exigências impostas pelo projeto, desenvolveu-se um *hardware* simples e versátil com componentes comuns e de baixo custo já bastante testados no mercado. O *software* de coleta e avaliação dos dados foi

desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação *Visual Basic*® da empresa Microsoft, e a porta paralela como meio de comunicação entre o *hardware* e o PC. Buscou-se disponibilizar uma interface amigável para o usuário, o que foi possível através do potencial da linguagem de programação no tocante aos recursos visuais e gráficos que esta dispõe.

1.4 Justificativa

O consumo de energia elétrica no Brasil entre nov. 2004 e out. 2005, está distribuído segundo os setores da economia, como mostra a Figura 1.1. A área industrial foi a que mais contribuiu atingindo 44% do consumo total (ABRACE, 2005). Dentro do setor industrial a demanda de energia para uso como força motriz, representa cerca 49% do total da energia consumida neste setor (CEPEL, 1998). Considerando os dados das estatísticas mostradas acima, pode-se estimar que os motores elétricos foram responsáveis por aproximadamente 22% do consumo global de energia do país neste período (44% x 49%). Como nos 12 meses em análise o Brasil teve um consumo da ordem de 334.308 GWh, os motores elétricos contribuíram com cerca de 73.547 GWh do total consumido, o que é bastante significativo.

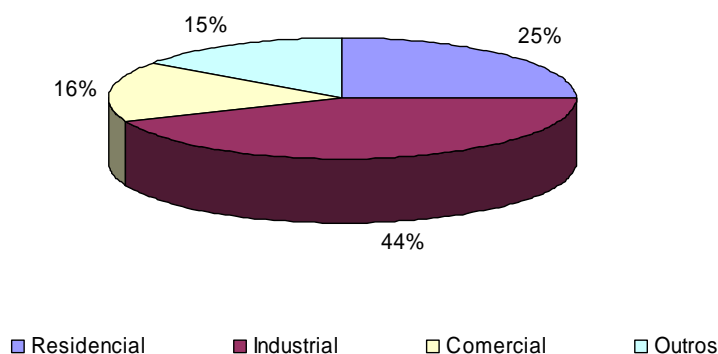


Figura 1.1 - Consumo de energia elétrica no Brasil - nov. 2004 à out. 2005 (ABRACE, 2005)

Por outro lado, estes equipamentos desempenham funções importantes para a continuidade operacional das indústrias, sendo em muitas situações responsáveis pela cessação da produção parcial ou total quando entram em falha. Como consequência destas falhas produz-se problemas de ordem econômica, financeira ou até mesmo de imagem para as empresas.

Então, a disponibilidade operacional de uma planta industrial pode ser drasticamente afetada em função da taxa de falha (λ) dos seus motores elétricos. Alguns bancos de dados internacionais de confiabilidade trazem valores de taxas de falha de motores conforme mostra a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Taxas de falhas de motores elétricos

Taxa de Falha	IEEE	AIChE	RAC
	(λ) Falhas/Hora		
Baixa	$0,01 \times 10^{-6}$	$0,311 \times 10^{-6}$	
Típica	$4,14 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-6}$	$6,90 \times 10^{-6}$
Alta	400×10^{-6}	$10,5 \times 10^{-6}$	

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), American Institute of Chemical Engineers (AIChE) e Reliability Analysis Center (RAC)

As refinarias de petróleo americanas adotam como valor limite aceitável para queima de motores elétricos por ano (modo de falha considerado catastrófico), 4% da quantidade de motores em operação (VERRI, 1996). Considerando uma indústria de porte médio com certa de 600 motores elétricos e a taxa de queima de 4% ao ano, significa em números absolutos 24 motores queimados no período ou dois a cada mês, ou seja, um a cada 15 dias. Isto significa um MTBF muito baixo. Supondo-se que apenas 20% das falhas causem indisponibilidade total ou parcial da planta, que é um número bastante conservador tendo em vista a falta de equipamentos redundantes na maioria das indústrias, ter-se-ia 4,8 paradas de planta por ano. Tomando-se um *Mean Time To Repair* (MTTR) de 4 horas e mais 2 horas para condicionamento da planta, estas falhas representariam 28,8 horas de cessação de produção por ano.

Além das horas paradas necessárias para execução da manutenção corretiva (substituição e/ou reparo do motor) e condicionamento do processo, outras perdas (custos) podem ser significativas, tais como:

- Limpeza e condicionamento dos sistemas;
- Geração de produtos fora de especificação;
- Matéria prima, aditivos, catalisadores consumidos no período;
- Utilidades (vapor, energia elétrica, ar comprimido, etc);

- Gasto com reparo e peças de reposição;
- Mão de obra utilizada em manutenção corretiva (quando poderia estar trabalhando em atividades preventivas, preditivas ou mesmo produtivas);
- Custo com imobilizado (motores reservas e componentes).

Esta mesma indústria trabalhando em regime contínuo e com 97% de disponibilidade operacional, teria uma taxa de falha para os seus motores elétricos de $\lambda = 4,7 \times 10^{-6}$ falhas/hora (24 falhas / 600 motores x 0,97 x 24 horas x 365 dias). Apesar desta taxa de falha se encontrar dentro da faixa típica da Tabela 1.1, as falhas causariam impacto nos custos e nos índices de eficiência geral na simulação feita anteriormente.

Segundo Winfield e outros (2000), os custos com a manutenção de motores elétricos se situam entre 50 e 70% do orçamento anual para a manutenção elétrica de indústrias petroquímicas, e são montantes financeiros consideráveis.

Várias iniciativas têm sido tomadas por entidades de pesquisa e empresas especializadas no sentido de desenvolverem dispositivos e ou sistemas para testar, monitorar e predizer falhas em motores elétricos. De forma geral estes sistemas enfocam apenas um ou alguns modos de falha, ou seja, não cobrem os principais mecanismos de falha a que estes equipamentos estão sujeitos. Assim o especialista de manutenção tem que recorrer a várias ferramentas para avaliar a condição de seus principais motores.

Existe, portanto uma lacuna quanto a sistemas de monitoramento e predição de falhas de motores elétricos de baixa tensão que este projeto se propõe a preencher.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho foi organizado em seis capítulos, que cobrem a análise do problema, a descrição do projeto e o desenvolvimento da solução, o estado da arte, a avaliação dos resultados e as conclusões e perspectivas de futuros desenvolvidos.

O Capítulo 1, tem-se uma breve introdução quanto ao problema e a solução proposta neste projeto.

No Capítulo 2, O Estado da Arte, buscou-se relatar o que tem sido proposto em pesquisas acadêmicas e os desenvolvimentos tecnológicos na busca de solução para o problema central que é o monitoramento de motores elétricos.

No Capítulo 3, Os Motores Elétricos, faz-se uma explanação geral sobre vários tipos de motores, o princípio de funcionamento e suas características, seus componentes, os processos de falha e o uso na indústria.

No Capítulo 4, Desenvolvimento do Sistema, tem-se uma descrição detalhada da concepção do sistema, os testes em laboratório e o desenvolvimento do hardware e software.

No Capítulo 5, Análise dos Resultados, apresenta-se uma análise crítica da consistência dos resultados obtidos e a correlação desses com o objetivo inicial do projeto.

Por fim, no Capítulo 6, Conclusões e Perspectivas Futuras, apresenta-se as conclusões finais, como também as propostas de desenvolvimentos de futuros trabalhos como forma de aprimoramento e/ou desdobramento deste projeto.

Capítulo 2 O Estado da Arte

2.1 Introdução

A revisão do que já foi publicado a respeito deste tema foi dividida em duas partes. A primeira, relativa às publicações de iniciativas mais acadêmicas (propostas de sistemas e técnicas de monitoramento de motores elétricos). A segunda, voltada para os sistemas desenvolvidos por empresas e em uso corrente pela indústria. Foi dado enfoque as seguintes características:

- Forma de coleta de dados (*on-line* ou *off-line*);
- Grandezas medidas;
- Modos de falha detectados;
- Método de tratamento dos dados;
- Sistema de aquisição dos dados (*hardware*);
- Aplicação (motores de média ou baixa tensão);

2.2 Propostas, Estudos e Inovações

Segundo Sottile e Kohler (1989), a medição de corrente de seqüência negativa é uma alternativa para avaliar a condição e prever falhas em motores. Medindo-se os fasores de corrente e tensão de alimentação de um motor e determinando-se as componentes de seqüência negativa é possível avaliar a intensidade de processo de falha interno no motor e até mesmo separar das componentes causadas por desbalanço da rede de alimentação. As simulações em laboratório mostraram que existe uma forte relação entre a corrente de seqüência negativa para uma mesma corrente de fuga e a tensão de falta que representa o ponto da falta em relação ao zero volt do bobinado.

A teoria estendida de Vetor de Park tem sido aplicada para identificar falhas incipientes em motores de indução trifásicos. Um motor em condições normais de funcionamento é um circuito simétrico. Portanto, só apresenta seqüência positiva de corrente. Já os vetores de Park, são representados por um círculo. Em condições de falta, correntes de seqüência negativa estão presentes e os vetores de Park são então representados por uma elipse. O eixo maior da elipse é diretamente proporcional à soma das amplitudes das correntes de seqüência positiva e negativa, enquanto o eixo

menor guarda proporcionalidade com a diferença destas mesmas correntes. As simulações de defeitos em laboratório e os testes de campo revelaram eficácia desta técnica na identificação de curtos-circuitos entre espiras *on-line* (CRUZ, 2001).

Schaeffert, Le Carpentier e Zaim (1996) descrevem suas experiências na identificação de curtos-circuitos entre espiras em motores alimentados com inversores de frequência, através de um sistema de aquisição de dados e utilização de modelagem de Park.

Siddique e outros (2005), discutem as técnicas apresentadas no item 2.3 deste capítulo e mostram como tendências os sistemas baseados em *artificial intelligence* (AI) com uso de redes neurais artificiais (RNA), lógica difusa (*fuzzy*) e sistemas especialistas (SE)

Medições de temperatura, fluxo magnético e corrente no eixo do motor são técnicas que têm mostrado eficácia na identificação antecipada de processos de falha em motores elétricos (BOWERS e PIETY, 1994).

O teste de absorção com corrente contínua (*DC absorption test*) tem sido usado como uma alternativa ao tradicional teste de isolamento. Tal teste consiste na aplicação de degraus de tensão em tempos definidos até um valor especificado, seguido da posterior descarga da carga acumulada na máquina através de um resistor, registrando a queda de tensão sobre este (PINTO, 2004).

Um modelamento matemático usando componentes simétricas aplicado às medição de tensão e corrente tem sido utilizado experimentalmente como meio de identificar curtos-circuitos entre espiras em motores elétricos (JOKSIMOVIC e PENMAN, 1974).

Pela medição das correntes e tensões da máquina e a aplicação do teorema do torque eletromagnético no entreferro, pode-se avaliar as variações de carga e velocidade nos motores causadas por oscilações no equipamento acionado (BREEN e outros, 1996).

Thomson (2000), detalha um processo de detecção de curto-circuito entre espiras pela análise de assinatura de corrente, *Motor Current Signature Analysis* (MCSA), em motores de indução trifásicos de baixa tensão.

Um sistema de aquisição de dados, dotado de inteligência com um sistema especialista (baseado em rede neural), combinando análise espectral

de corrente, análise das tensões de alimentação e as solicitações térmicas da máquina monitorada, se apresenta como uma solução de baixo custo e eficiente na proteção e detecção de falhas de motores elétricos (FARAG, BARTHELD e HABETLER, 1994).

Uma experiência interessante é descrita por Sanz-Bobi e outros (2000) com o desenvolvimento de um sistema especialista usando mapas auto-organizados, para monitoramento de motores elétricos de trens de Madri/Espanha. Este sistema avalia a condição dos motores através da análise de corrente e de vibração no sentido axial e radial.

Huo e Trzynadlowski (1999) desenvolveram um sistema simples e de baixo custo para detectar falha em estatores de motores de corrente alternada (CA), com base no controlador TMS320F243 DSP da *Texas Instruments*, usando aquisição dos sinais de corrente e tensão de alimentação.

A expectativa de vida de um motor elétrico é modelada por meio do envelhecimento da isolação utilizando a equação de Arrhenius, levando-se em conta as solicitações térmicas, as contribuições das partidas repetidas e as diversas classes de isolamento normatizadas (BRANCATO, 1992).

Modelamento matemático e simulações, para determinar a vida de motores de corrente contínua baseado em solicitações térmicas e desgaste dos mancais, tem ajudado as divisões de manutenção na redução de custo, aumentando a disponibilidade e a confiabilidade destes equipamentos (GOKDERE, 2004).

Uma abordagem genérica sobre a aplicação de sistemas de inteligência artificial nos processos preditivos de manutenção é mostrada por (OUVERELOEIL, 1998).

Tem-se evidenciado iniciativas para monitoramento de outros tipos de equipamentos, como por exemplo: chaves seccionadoras, com aquisição de dados, análise por redes neurais e indicação de falha por meio de correio eletrônico, além de acesso a relatórios via Internet (ANDRÉ, 2004).

Expert SINTA é uma *shell* desenvolvido pelo Departamento de Computação da Universidade Federal do Ceará (UFC), para criação de sistemas especialistas, baseado em regras de produção e probabilidade. Este sistema apresenta uma interface gráfica amigável de fácil utilização tanto para o desenvolvedor da base de conhecimento como para o usuário final

(NOGUEIRA e outros, 1998). Esta ferramenta se encontra disponível para *download* no *site* do Laboratório de Inteligência Artificial da UFC (<http://www.lia.ufc.br>).

Dapper e outros (2003), apresentam uma visão geral sobre a teoria dos sistemas especialistas, suas aplicações e alguns exemplos de ferramentas de desenvolvimento.

2.3 Tecnologias

Vários dispositivos de testes, sistemas de monitoramento e técnicas de manutenção preventiva estão disponíveis no mercado e serão descritos nos itens subseqüentes.

2.3.1 Descargas Parciais

Descargas parciais (DP) são pequenas descargas que ocorrem devido aos esforços elétricos produzidos pelas tensões elevadas a que estão submetidos os materiais isolantes num motor elétrico, conforme ilustra a Figura 2.1. Uma falha no processo de fabricação pode deixar bolhas de ar que será ionizado, dando lugar a uma descarga elétrica (STONE e outros, 2004). A repetição destas descargas carboniza o material isolante podendo levar a um curto-circuito e assim a retirada do motor de operação. As descargas parciais produzem ondas eletromagnéticas de alta freqüência que podem ser detectadas de várias maneiras: circuito acoplador com capacitor, transformador de corrente (TC), antena, etc. Baseados neste fenômeno, fabricantes têm desenvolvidos sistemas de monitoramento.

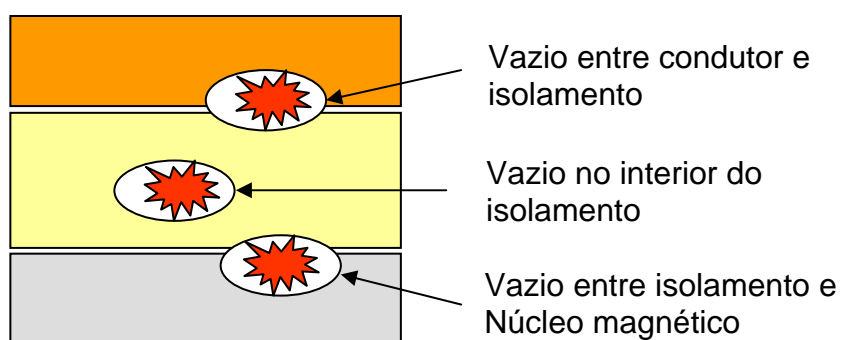


Figura 2.1 Descargas parciais

A empresa canadense *Íris Power, Engineering Inc.*, comercializa vários modelos de sistemas de monitoramento *on-line* de DP, dentre estes o PDTrack®, que podem ser usados em motores e geradores de tensão nominal igual ou superior a 3,3 kV. Este equipamento é constituído de acopladores capacitivos que são ligados aos terminais do motor e cabos coaxiais levam uma amostra de tensão a um circuito divisor resistivo, que por sua vez passa o sinal para a unidade micro-processada. Nesta unidade, os sinais são filtrados e processados, informando sobre a condição da máquina num *display* frontal e com *Light Emitting Diode* (LED). Uma interface de comunicação RS 232 também está disponível para coleta local de dados por um microcomputador portátil. Uma interface RS 485 ou uma porta *Ethernet* servem para a comunicação remota. A *Íris Power* também disponibiliza um sistema especialista chamado MICAA, que ajuda a diagnosticar as máquinas através dos dados coletados (LLOYD, STONE e STEIN, 1994).

A ABB – *Asea Brown Boveri Ltda.*, representa a *PdTech Power Engineering AG* que desenvolveu um sistema semelhante, o MICAMAXX pda, que utiliza como sensores tanto os acopladores capacitivos como um conjunto de transformadores de corrente. Este equipamento fornece as informações das atividades de DP através de *um display* e de uma porta de saída de 4 a 20 mA, além de alarmes de LEDs e contatos normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF).

Como se pode observar estes sistemas se aplicam, em sua maioria, a motores de médio e grande porte e conseqüentemente de tensões elevadas, o que limita o universo de aplicação, uma vez que motores deste porte são minoria nas plantas industriais.

2.3.2 Fluxo Magnético

Uma distorção na densidade de fluxo magnético no entreferro, devido a problemas no estator ou rotor, produz um fluxo magnético homopolar no eixo da máquina (SIDDIQUE e outros, 2005). Este fluxo pode ser detectado por uma bobina montada na face do protetor da ventoinha do motor como mostra a Figura 2.2.

A CSI – *Computational Systems, Inc.* dispõe de um sistema que usa este princípio e tem por objetivo identificar barras do rotor trincadas ou quebradas, falhas no estator e desequilíbrio de fase.



Figura 2.2 – Bobina para captura do fluxo magnético (CSI, 2006)

Segundo Soares (2002), a vantagem da técnica de análise de fluxo magnético com a bobina em relação ao uso do alicate amperímetro, é a de não necessitar abrir painéis elétricos e com isto não se expor aos riscos inerentes a esta operação.

2.3.3 Testes de Verificação da Condição

2.3.3.1 Resistência de Isolamento

A medição da resistência de isolamento, consiste na aplicação de tensão contínua, de valor pré-definido, entre o bobinado e a massa, e faz-se então a medição da corrente de fuga que circula após o tempo de estabilização do circuito. O instrumento que mede a resistência de isolamento (RI) e apresenta o valor diretamente em mega-ohm ($M\Omega$), é o megômetro, também conhecido por *Megger*, marca registrada pela *James Biddle Coporation* (MEDEIROS, 1981).

Durante a aplicação de tensão num motor, várias correntes circulam devido aos fenômenos de absorção dielétrica, capacitância, polarização do dielétrico e condução. Por esta razão, as resistências de isolamento aos 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos são executadas a fim de se avaliar as condições da isolação do motor. As relações entre estas medidas são chamadas de Índice de Absorção (IA) e Índice de Polarização (IP) e estão definidas nas expressões 2.1 e 2.2, onde **RI(30'')** é a resistência de isolamento

à 30 segundos, **RI(1')** é a resistência de isolamento à 1 minuto e **RI(10')** é a resistência de isolamento à 10 minutos.

$$IA = RI(1') / RI(30'') \quad (2.1)$$

$$IP = RI(10') / RI(1') \quad (2.2)$$

A norma std-43 (2000) estabelece as condições e valores de tensão a serem aplicados como também os valores mínimos aceitáveis de resistência de isolamento e IP para vários tipos de motores, como mostram as Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3.

Tabela 2.1 Tensões de teste segundo (std-43)

Tensão Nominal ¹ (Volts)	Tensão de Teste (Volts)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12000	5000 – 10000

¹ Tensão de linha para máquinas trifásicas, tensão fase- neutro para máquinas monofásicas e tensão de nominal para máquinas de corrente contínua.

Tabela 2.2 Mínimos valores de IP segundo (std-43)

Classe de Isolamento	IP (mínimo)
Classe A	1,5
Classe B	2
Classe F	2
Classe H	2

Tabela 2.3 Mínimos valores de RI segundo (std-43)

RI Mínimos Valores (MΩ)	Aplicação
$RI(1') = kV + 1$	Para enrolamentos fabricados antes de 1970
$RI(1') = 100$	Para armaduras de máquinas de CC e enrolamento de máquinas de CA fabricadas após 1970
$RI(1') = 5$	Para máquinas com bobinas enroladas ou pré-formadas de tensão inferior a 1000 Volts

kV – tensão nominal da máquina em kV RMS

A resistência de isolamento é sensível a variações de temperatura, por isso os valores devem ser corrigidos para 40°C e assim poderem ser comparados com dados históricos. Por outro lado, este teste indica quanto os

bobinados estão contaminados principalmente por umidade e sujeira, o que proporcionam aumento da corrente de fuga superficial. Mas, não é o teste mais adequado para detectar falhas internas na isolação provenientes de problema de fabricação ou degradação térmica conforme std-43 (2000).

Vários modelos de megômetros estão disponíveis, sendo em sua maioria portátil, alimentada por baterias, com diferentes tensões de teste, alguns analógicos e os mais modernos micro-processados, com indicação em *display* de cristal líquido, memória e até micro-impressora para registro dos dados dos testes (valores de **RI**, **IP**, **IA**, etc.).

2.3.3.2 Resistência Ôhmica

Os valores de resistência ôhmica dos bobinados de um motor trifásico são bem equilibrados admitindo-se uma variação máxima de 5% entre os valores máximo e mínimo em relação ao valor médio como base (KIAMEH, 2004). Para a medição pode-se utilizar uma ponte de Kelvin, ponte de Wheatstone ou micro-ohmímetro, conectado diretamente a cada bobinado, quando todos os terminais são acessíveis, ou aos pares dos terminais de alimentação do motor (MEDEIROS, 1981).

A medição da resistência ôhmica pode identificar problemas nos bobinados, principalmente maus contatos nas conexões ou curto-circuito entre espiras. Estas falhas incipientes, caso não sejam tratadas poderão evoluir para falhas catastróficas com a danificação parcial o total dos bobinados (PENROSE, 2002). Este tipo de medição pode também ser usado para avaliar a temperatura dos bobinados uma vez que os valores de resistência variam em função deste parâmetro.

Estes equipamentos são de fácil aquisição sendo encontrados em diversos modelos, tanto importados, quanto nacionais, analógicos ou digitais, de qualidade comprovada.

2.3.3.3 Tensão Aplicada

Também conhecido como *Hipot Test*, o teste de tensão aplicada é utilizado em máquinas com tensão de trabalho igual ou superior a 1 kV, novas, rebobinadas ou em manutenção periódica. Este teste tem como objetivo avaliar

o estado da isolação da máquina. Por utilizar potenciais elevados, o *Hipot Test* pode ser destrutivo, sendo fundamental a habilidade do executante em observar a tendência de crescimento da corrente de fuga e interromper a aplicação de tensão antes que ocorra uma falha. Por esta razão, a referida metodologia tem sido evitada ou substituída por outros testes menos agressivos. A norma std-95 (2005) estabelece os valores de tensão a serem aplicados e a metodologia de teste (LANHAM, 2005).

2.3.3.4 Teste de Impulso

The Surge Test como é chamado, o teste de impulso se aplica a avaliação de máquinas novas, recuperadas e em manutenção de rotina, tanto de baixa quanto de média tensão. Consiste na aplicação de um pulso de tensão em uma bobina e a comparação deste pulso com a onda refletida, usando a tela de um osciloscópio para a visualização e a medição. Caso as ondas se sobreponham, isto indica que não existe problema com o motor. Caso haja distorções, podem ser detectados curtos-circuitos entre espiras, entre bobinas ou entre fases, de acordo com padrões de ondas pré-definidos.

As normas std-51 (1977) e std-43 (2000) recomendam que as tensões de teste das máquinas sejam, em geral, duas vezes a tensão nominal mais 1000 Volts. Entretanto para motores novos e rebobinados, um fator de controle de qualidade entre 1,2 e 1,7 deve ser aplicado ao dobro da tensão nominal para obter a tensão de teste (LANHAM, 2005), (WILSON, 2003).

2.3.3.5 Teste de Fator de Potência da Isolação

O teste de fator de potência da Isolação (FP) ou tangente de delta ($\text{tg } \delta$) se aplica a motores de média tensão e consiste em aplicar um potencial CA e medir as potências consumidas (potência ativa, reativa e aparente) e consequentemente determinar o fator de potência ou fator de perdas.

A isolação de um motor sob tensão CA, pode ser representada na forma de circuito elétrico, conforme aparece na Figura 2.3. A capacitância **C** caracteriza a própria isolação e a resistência **R** em paralelo a resistência de isolamento. Numa isolação ideal a resistência tenderia para infinito, o que resultaria num circuito puramente capacitivo, ou seja, quanto melhor for a

condição da isolação menor será a corrente que circula no ramo resistivo e menor será o fator de potência.

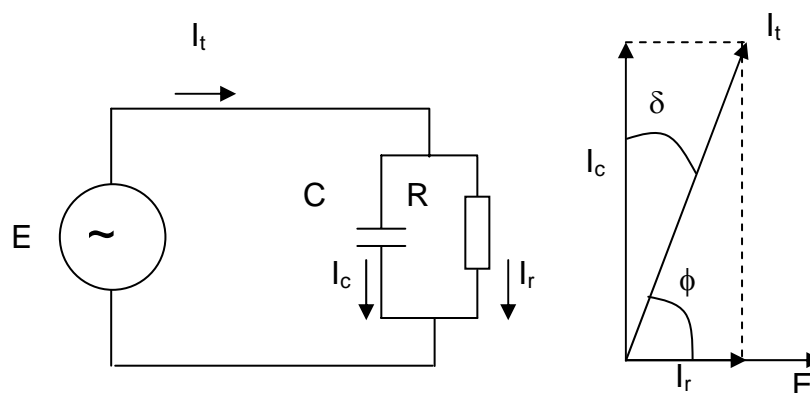


Figura 2.3 – Fator de potência da isolação

Geralmente neste tipo de medição é usada uma Ponte de Schering que apresenta os resultados em valores de potências ou diretamente o **FP**, a **tg** δ e a capacitância (MEDEIROS, 1981).

2.3.3.6 Isolamento *Off-line*

A isolação de um motor elétrico se degrada tanto em funcionamento, devido aos esforços elétricos e mecânicos, quanto parado, por ação do tempo (condensação de umidade, agentes químicos, etc.). Algumas indústrias, por razão de confiabilidade, instalam equipamentos redundantes (exemplo: duas bombas para a mesma função) de forma que quando um está operando o outro fica em repouso e periodicamente estes equipamentos são revezados. Muitas vezes quando se tenta usar o motor reserva, este se encontra em falha, quase sempre com baixa isolação de seus bobinados. Para que isto não ocorra, tradicionalmente, utiliza-se o trabalho de um profissional de manutenção elétrica para testar periodicamente estes motores.

A idéia fundamental deste sistema é automatizar a medição da isolação, ou seja, sempre que o motor estiver parado um dispositivo mede a resistência de isolamento do circuito cabo e motor, indicando quando um valor pré-definido de RI for atingido.

A empresa *MegAlert*, desenvolveu uma série de dispositivos que fazem esta função, e que se aplicam tanto a motores de BT como de MT. Eles são compostos por uma unidade retificadora que é alimentada pela própria

tensão do motor; um circuito de medição de corrente de fuga; que monitora a RI e um circuito de controle que opera aplicando tensão contínua quando o motor está parado. Este circuito de controle tem um intertravamento com o circuito principal do motor, feito por um contato NF do dispositivo de partida, para evitar que se aplique tensão contínua quando o motor está em operação normal, como ilustra a Figura 2.4. A saída de alarme aciona um LED na parte frontal e/ou remoto, além de disponibilizar contatos NA e NF para um painel anunciador ou um sistema de controle automatizado, como o *Programmable Logic Controller* (PLC), Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), supervisor, etc.

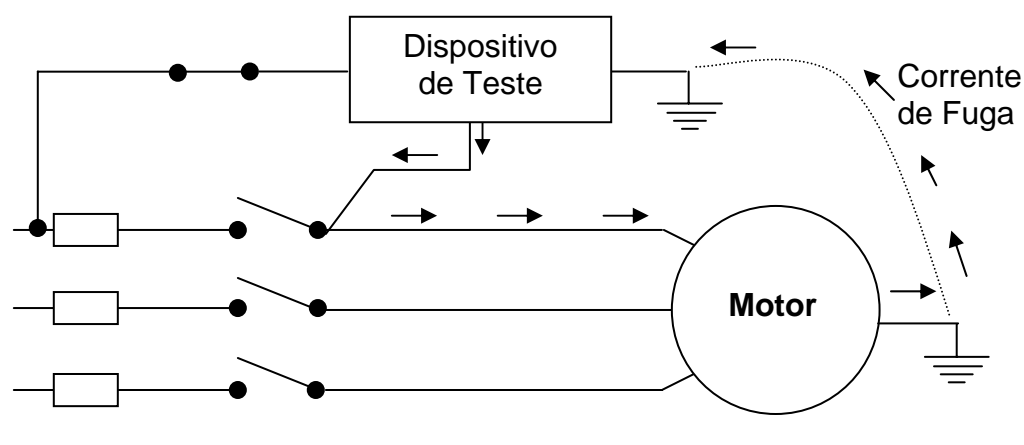


Figura 2.4 – Diagrama do sistema de isolamento *off-line*

Desta forma, o processo de falha é detectado com antecedência para que a equipe de manutenção entre em ação, antes que este problema tome proporções tais que venham a acarretar custos desnecessários e a indisponibilidade do ativo.

Estes dispositivos têm potencial aplicações em equipamentos prioritários para a instalação industrial, ou nos casos onde o acesso ao equipamento é difícil ou quando se necessita da redução da demanda de mão-de-obra.

2.3.3.7 Análise de Vibração

Esta é uma tecnologia já bem dominada e bastante utilizada no meio industrial. Existe uma série de sistemas disponíveis, sejam de utilização manual, onde rotas e frequências de coleta de dados são definidas, seja

através de sistemas de monitoramento contínuos, geralmente instalados em grandes máquinas. A grande maioria dos analisadores de espectros atuais se baseia em algoritmos que utilizam *Fast Fourier Transform* (FTT), e esta técnica de análise faz uma decomposição do sinal de vibração em um conjunto finito de frequências características, empregando a transformada rápida de Fourier (BRITO, 2002).

A análise de vibração pode ser usada para detectar tanto falhas de origem mecânica (desbalanceamento, desalinhamento, folgas mecânicas, etc.) como falhas de origem elétrica (barras de rotor quebradas, desbalanço de tensão, etc.).

2.3.3.8 Assinatura de Corrente

A análise de corrente ou assinatura de corrente é utilizada na determinação dos espectros de corrente dos motores elétricos, usando para tanto sensores tipo alicates amperímetros ou transformadores de corrente bipartidos. A frequência da rede é tomada como base e as bandas laterais analisadas para detectar barras do rotor trincadas ou quebradas como também desbalanço de tensão de alimentação. Um inconveniente desta técnica é a necessidade de aproximar os sensores de medição dos cabos energizados do motor, para a medição das correntes.

Brito (2002), desenvolveu um sistema especialista chamado SE_MIT, com auxílio da *shell Expert* SINTA (comentado no item 2.2), capaz de diagnosticar falhas incipientes em motores de indução trifásicos (MIT) a partir da análise de vibração, corrente e fluxo magnético.

2.3.3.9 Termografia

Termografia é uma tecnologia que tem várias aplicações, seja na área militar (visão noturna, sistema de mira, localização, etc.), na medicina (tomografia) ou na manutenção para mapeamento termográfico de equipamentos.

Qualquer corpo, em temperaturas acima do zero absoluto, emite radiação infravermelha. Coletando-se a luz emitida é possível determinar a distribuição de temperatura deste corpo (termograma).

Esta ferramenta é utilizada, cada vez mais, na manutenção preditiva de equipamentos elétricos. É uma técnica não invasiva e segura, uma vez que não há necessidade de contato com os equipamentos. A aplicação desta técnica em motores elétricos pode detectar mau contato nas conexões, problemas nos mancais, ventilação deficiente e problemas no acoplamento flexível. Na Figura 2.5 tem-se um termograma de um motor elétrico.

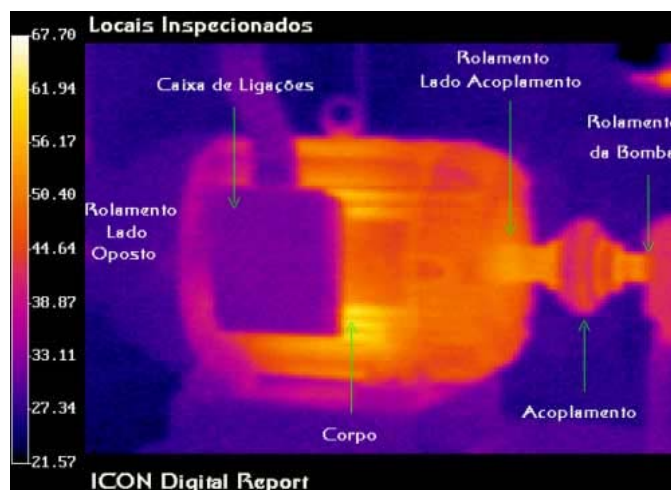


Figura 2.5 Termograma de um motor – Site Termonautas

No mercado existem vários fornecedores deste tipo de equipamentos (câmeras e acessórios), como também de *software* para análise das imagens termográficas e elaboração de relatórios. Por outro lado, muitas empresas especializadas em inspeção termográfica oferecem serviços terceirizados o que, para muitas indústrias, é muito mais interessante uma vez que não há necessidade de investir em equipamentos e treinamento de pessoal próprio.

2.3.3.10 Análise de Circuito de Motor

Penrose (2003) propõe a tecnologia *Motor Circuit Analysis* (MCA), como uma metodologia de teste e análise preditiva de motores, em substituição às técnicas tradicionais, que utilizam tensões elevadas (Tensão Aplicada e Teste de Impulso).

A tecnologia MCA é baseada numa série de testes que, segundo o autor, são capazes de identificar antecipadamente falha incipiente, conforme mencionado a seguir:

- Medição de resistência ôhmica para localizar conexões folgadas, fios partidos e severos curtos-circuitos nos bobinados;
- Medição da impedância e indutância, para detectar desequilíbrios de fase, problemas nas bobinas e rotor e, também, falta de uniformidade do entreferro;
- Medições do ângulo de fase, que podem indicar problemas de isolamento, que modificam a capacitância entre condutores e a massa;
- Medições de corrente, em frequências variadas, podem revelar modificações nos parâmetros do motor (resistência, capacitância e impedância) devido a problemas de contaminação ou desgaste da isolamento;
- Medições da resistência de isolamento entre os bobinados e a massa, para avaliar a condição da isolamento em geral.

Esta metodologia se aplica aos motores de baixa e média tensão na manutenção de rotina, após rebobinamento ou na colocação em serviço de novas máquinas. Segundo Penrose (2003), 81% dos motores reparados em oficinas têm seus bobinados alterados e a técnica descrita é útil como ferramenta de controle de qualidade. Por outro lado, as bases de dados formadas com os valores dos testes, auxiliam na análise e solução de problemas com motores.

Idealmente o desvio nas medidas de impedância das bobinas de um motor de indução trifásico deve ser menor que 1%, ou seja, valores superiores já podem ser considerados como anormais (STONE e outros, 2004). Na prática, desvios de impedância abaixo de 3% são considerados aceitáveis. Desvios entre 3% e 5% sugerem a necessidade de investigação das causas. Por fim, desvios maiores que 5% requerem parada do motor para manutenção, prevenindo-se danos ao equipamento (Penrose, 2003).

Contudo, cada motor tem perfil específico quanto aos valores de impedância, como uma assinatura ou impressão digital, sendo este aspecto mais relevante para a avaliação da integridade de suas bobinas que um valor medido isoladamente (Penrose, 2002).

A *BJC Corporation* dispõe de vários modelos de instrumentos que para as medições discutidas, dentre estes o *ALL-TEST Pro 2000*. O *EMCAT Motor Management Software* é utilizado para sistematizar os dados coletados no campo em um banco de dados, de modo a definir tendências e informações relevantes para tomada de decisão pela engenharia de manutenção.

A empresa *PdMA Corporation* desenvolveu o sistema *MCEmax*, acoplado a microcomputador portátil que combina os dados de testes *on-line* e *off-line* e determinando grandezas como resistência de isolamento, resistência ôhmica, indutância, capacitância, corrente e tensão. Estas medições são utilizadas pelo *software WinVis©* para avaliar preditivamente motores elétricos e a qualidade de energia de alimentação.

2.3.3.11 Ultra-som

Ultra-som designa as freqüências superiores à percepção do ouvido humano, ou seja, oscilações mecânicas com freqüência superior a 20 kHz. Esta gama de freqüência tem sido utilizada na detecção de falhas de origem mecânica como vibração, problemas em mancais ou de lubrificação, dentre outros. Idem para as falhas de origem elétrica como corona, descargas parciais, centelhamento, entre outras.

Os modelos de instrumentos disponíveis no mercado, são os mais variados possíveis. Eles têm sensores capazes de detectar estas altas freqüências, com ou sem contato com as partes estruturais dos motores. Como parte da estratégia de medida, estes equipamentos podem ser dotados de circuitos de condicionamento, capazes de transformar as vibrações de alta freqüência em sinais audíveis, observáveis com o uso de fones de ouvido. A partir da observação dessas vibrações mecânicas é possível a criação de padrões que caracterizam cada tipo de falha, o que auxilia o trabalho de inspetores no diagnóstico de motores.

2.3.4 Resumo das Tecnologias

Na Tabela 2.4 tem-se as principais técnicas disponíveis no mercado, identificando a que tipo de motor se aplicam, qual a condição de utilização e que modos de falha são capazes de identificar.

Tabela 2.4 Resumo das técnicas disponíveis

Técnicas	Tipo Motor		Condição		Modos de Falha									
	Média Tensão	Baixa Tensão	On-line	Off-line	Descargas Parciais	Curto entre Espiras	Vibração	Barras Quebradas	Desbalanço de Tensão	Mau Contato - Conexões	Isolação	Excentricidade Entrefeirro	Envelhecimento Térmico	Sobrecarga
Análise de Vibração	X	X	X				X	X				X		
Assinatura de Corrente	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X		X
Descargas Parciais	X		X	X	X						X			
Fluxo Magnético	X	X	X			X	X	X	X		X	X		X
FP da Isolação	X			X							X			
Impedância	X	X		X		X				X	X	X	X	
Isolamento <i>Off-line</i>	X	X		X							X			
MCA	X	X				X		X	X	X	X	X		
Medição Tensão e Corrente	X	X	X						X	X				X
Nº Partidas Repetidas	X	X	X										X	X
R. Isolamento	X	X		X							X			
R. Ôhmica	X	X		X		X				X				
Temperatura	X	X	X						X				X	X
Tensão Aplicada	X	X		X							X			
Termografia	X	X	X							X			X	X
Teste de Impulso	X	X		X		X					X			
Ultra-som	X	X	X		X		X	X			X	X		

Capítulo 3 Os Motores Elétricos

3.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada uma visão geral sobre os tipos de motores elétricos, como funcionam, as principais características, os componentes, os processos de falha e como são utilizados pela indústria.

3.2 Classificação

Os motores elétricos podem ser classificados como: Motores de Corrente Alternada, Motores de Corrente Contínua e Motores Universais. Estes últimos podem ser alimentados tanto com corrente alternada como com corrente contínua. Na Figura 3.1 tem-se, sob forma de organograma esta classificação.

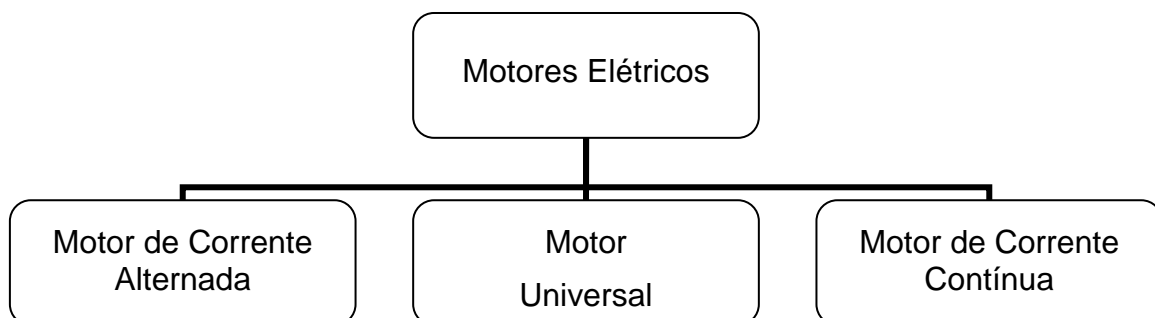


Figura 3.1 Classificação geral de motores elétricos

Devido à facilidade de alimentação, construção, operação e manutenção, os motores mais usados na indústria são os motores de corrente alternada. Estes motores se classificam segundo os aspectos construtivos como: Lineares, Monofásicos e Trifásicos.

Os motores lineares são assim chamados por terem movimentos retilíneos ao contrário dos outros tipos que têm movimentos rotativos. Estes motores dividem-se em de Indução e de Ímãs Permanentes e têm aplicações muito específicas.

Os motores monofásicos, quanto ao princípio de funcionamento, podem ser Síncronos ou Assíncronos com uma ampla variedade de tipos conforme mostrada na Figura 3.2.

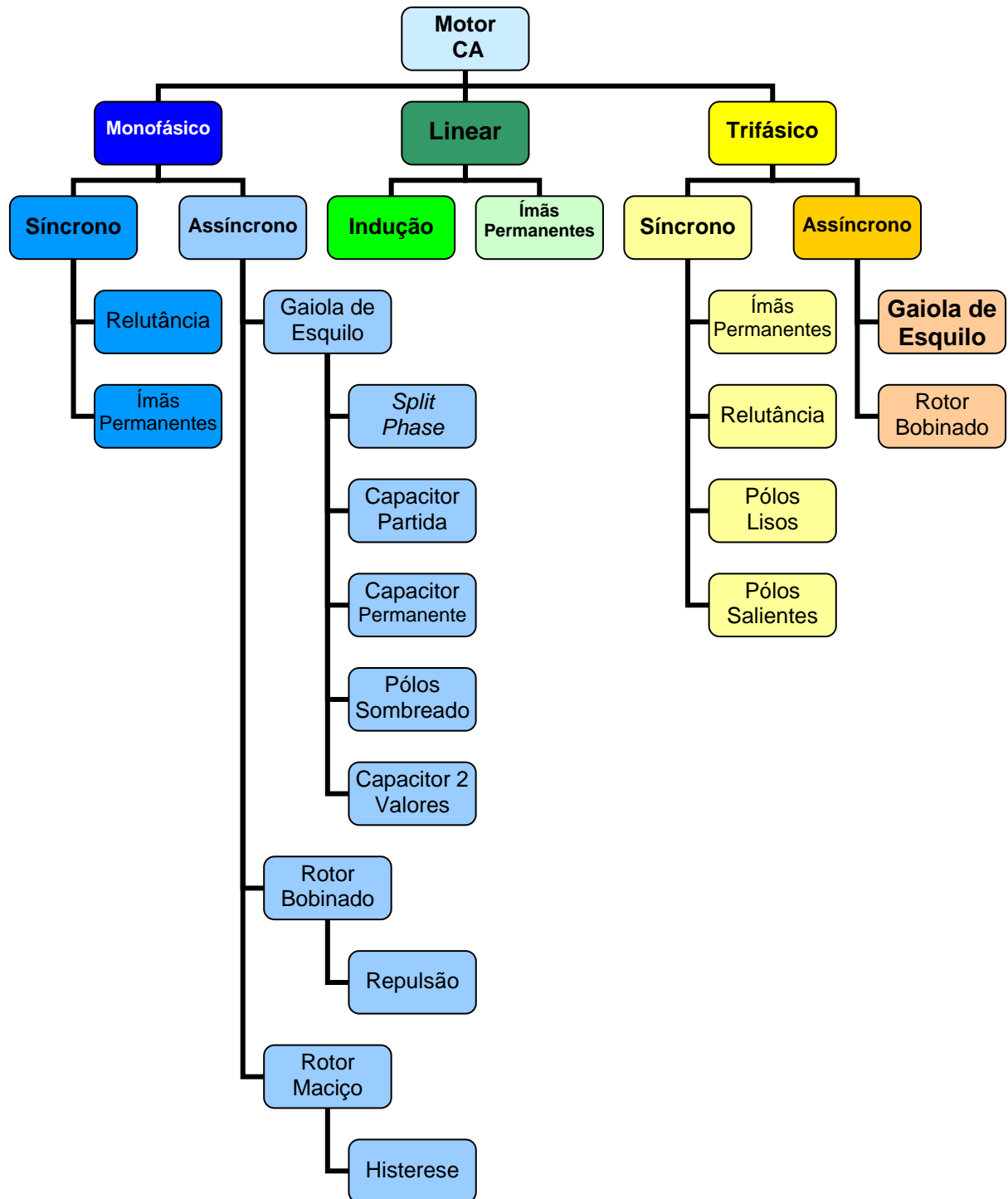


Figura 3.2 Classificação detalhada de motores elétricos

Já os motores de CA trifásicos podem ser do tipo Síncrono, onde a rotação do rotor está em sincronismo com a rotação do campo magnético girante do estator, ou do tipo Assíncrono, também conhecido como motor de indução trifásico, por existir uma defasagem entre a velocidade do rotor e a do campo girante do estator. A esta diferença de velocidades se dá a denominação de escorregamento.

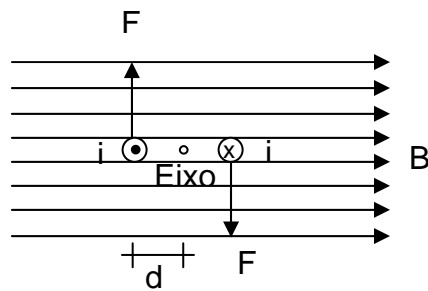
Os motores de indução trifásicos, que podem vir equipados de rotores bobinados com anéis coletores, permitem a inserção de uma resistência externa para controle de velocidade. Estes motores podem também ser do tipo gaiola de esquilo, apresentando grande robustez, facilidade de operação e manutenção. Os MIT de rotor tipo gaiola de esquilo, são geralmente preferidos nas aplicações industriais. Com a popularização dos inversores de frequência, este tipo de motor tem substituído os motores de corrente contínua e de rotores bobinados nas aplicações que exigem variação e/ou controle de velocidade.

3.3 Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento dos motores elétricos se baseia nas leis de Faraday e de Lenz. A primeira é conhecida como lei da indução magnética, sendo que a segunda prevê que o campo magnético criado pela corrente elétrica induzida opõe-se ao campo magnético que a produziu dando origem ao movimento.

Em outras palavras, um condutor elétrico percorrido por uma dada corrente elétrica, na presença de um campo magnético fica submetido a uma força eletromagnética, chamada de ação motora (Kosow, 1982). Esta força será proporcional à intensidade do campo magnético, a corrente que circula pelo condutor, ao comprimento do condutor e ao ângulo que este faz com as linhas de campo como sugere a equação 3.1 e Figura 3.3, onde **F** é a força eletromagnética (N), **B** é a densidade de campo magnético (Wb/m^2), **i** é a corrente elétrica (A), **L** é o comprimento do condutor (m) e **sen α** é o seno do ângulo entre o condutor e as linhas de campo.

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \text{sen } \alpha \quad (3.1)$$



3.3 Força eletromagnética

Se vários condutores forem dispostos de forma adequada e tiverem um grau de liberdade em relação a um eixo, aparece um conjugado de forças e conseqüentemente um movimento circular, como explicita a equação 3.2, onde **M** é o momento ou conjugado (Nm), **F** é a força eletromagnética (N) e **d** é a distância do eixo ao ponto de aplicação da força (m).

$$M = 2 \cdot F \cdot d \quad (3.2)$$

3.4 Campo Girante

Nos motores de indução trifásicos os bobinados estão montados com um ângulo de 120 graus elétricos entre eles, ao redor do estator, conforme mostrado na Figura 3.4.

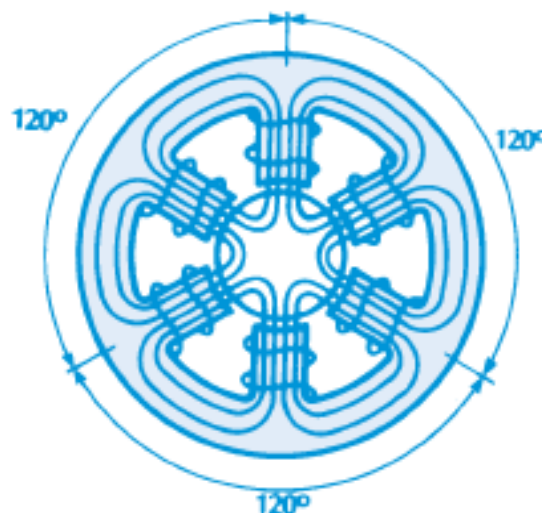


Figura 3.4 Distribuição das bobinas no estator (WEG, 2005)

As bobinas são alimentadas por tensões alternadas defasadas de 120 graus entre si, gerando campos magnéticos também defasados de 120 graus, conforme mostrado na Figura 3.5.

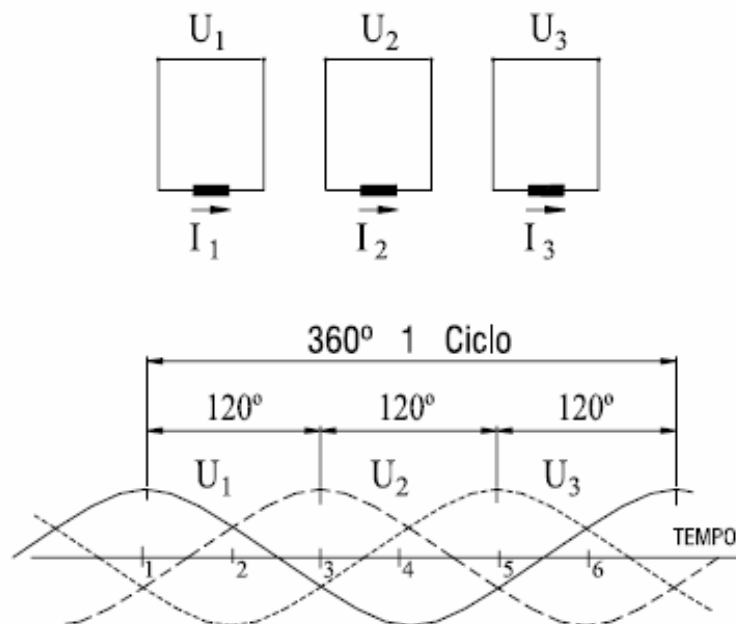


Figura 3.5 Sistema trifásico de alimentação (WEG, 2005)

A soma vetorial dos campos magnéticos, relativos às tensões de alimentação das bobinas, tem como resultante um vetor chamado de campo girante. Este vetor, cuja direção e sentido se deslocam até completar 360 graus ou um giro completo, está representado na Figura 3.6.

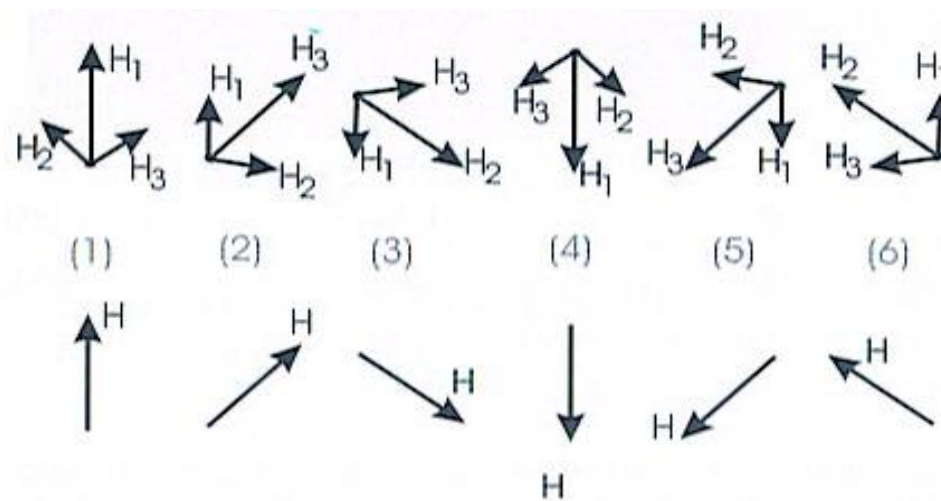


Figura 3.6 Formação do campo girante (WEG, 2005)

3.5 Circuito Equivalente

O motor elétrico pode ser representado pelo circuito da Figura 3.7, onde R_1 e X_1 correspondem as resistências e reatância do estator, R_2 e X_2 a resistência e a reatância do rotor e X_m o ramo de magnetização que caracteriza o entreferro. A resistência do rotor R_2 é refletida para o circuito do estator através do fator de correlação que é o escorregamento s .

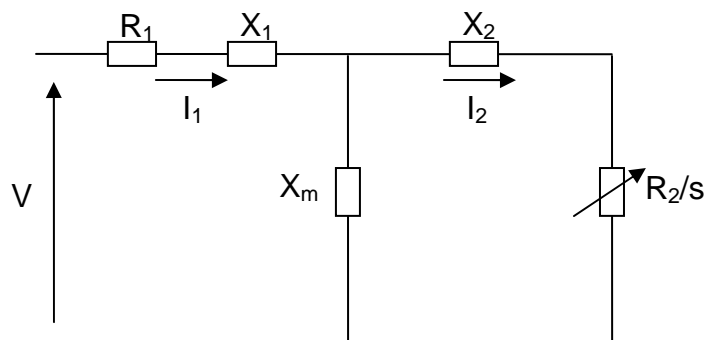


Figura 3.7 Circuito equivalente do MIT

Aplicando-se uma tensão alternada aos enrolamentos do estator, aparece uma tensão induzida nos condutores do rotor. Como estes condutores estão curto-circuitados, conseqüentemente surgirá uma corrente elevada no rotor. Assim, o estator pode ser considerado como o primário de um transformador e o rotor como seu secundário em curto-circuito.

No momento da partida o escorregamento é máximo (100%), pois a diferença entre a velocidade do campo girante e a do rotor (velocidade zero) está no valor máximo, então a resistência do rotor refletida é mínima e a corrente de partida é elevada. À medida que o rotor acelera o escorregamento diminui e a resistência refletida aumenta na mesma proporção.

3.6 Componentes

Os motores de indução trifásicos são compostos de duas partes principais, estator e rotor, como serão mostrados em detalhes nas Figuras 3.8 a 3.10.

O estator Figura 3.8, como o próprio nome sugere, é a parte fixa do motor e é formado por chapas de aço magnético tratadas termicamente e

separadas entre si por material isolante, para minimizar as perdas por correntes parasitas (correntes de Foucault) e histerese magnética.

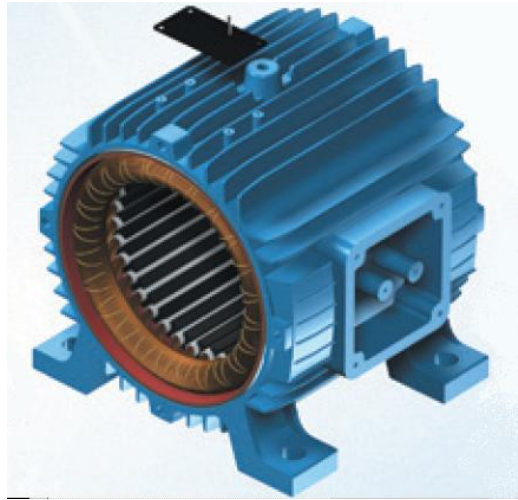


Figura 3.8 Estator (WEG, 2005)

Estas chapas são estampadas em forma de anel com aberturas radiais que vão compor as ranhuras quando empilhadas formando o pacote magnético, conforme mostrado nas Figuras 3.9 e 3.10. Nas ranhuras são alojados os condutores que compõem os enrolamentos ou bobinados, os quais por sua vez, são responsáveis pela criação do campo magnético no estator. A carcaça também faz parte do estator e tem como principal função servir de estrutura e proteção para os demais componentes.

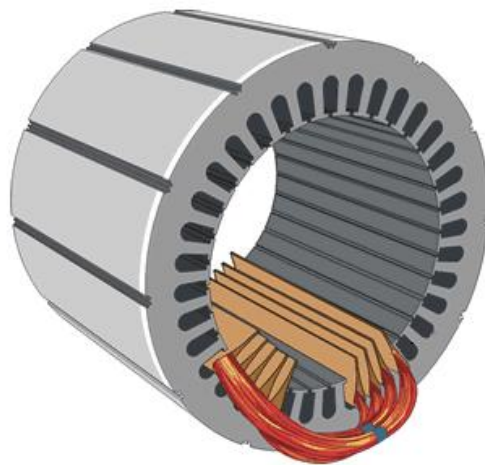


Figura 3.9 Pacote magnético do estator (SIEMENS, 2007)

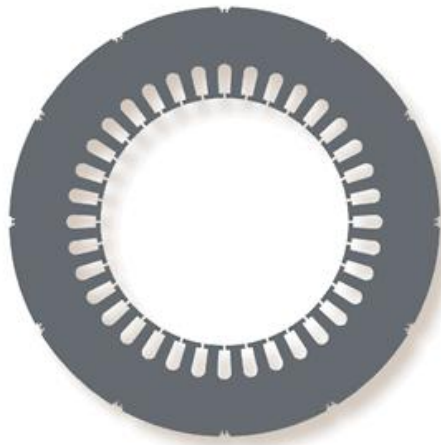


Figura 3.10 Chapa do estator (SIEMENS, 2007)

O rotor, que é a parte giratória do motor, também é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente, também em formato de anel e com os condutores da gaiola de esquilo alojados longitudinalmente, ver Figura 3.11 e Figura 3.12.

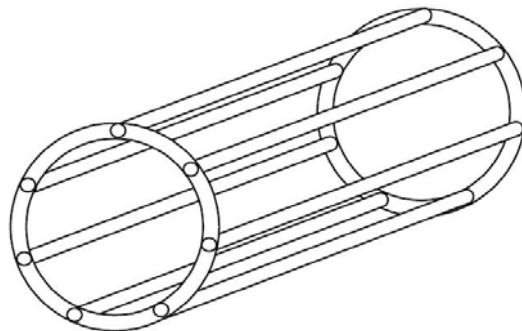


Figura 3.11 Condutores da gaiola de esquilo

(<http://www.geocities.com/vijayakumar777/inductionmotor/inductionmotor.html>)



Figura 3.12 Rotor em corte (SIEMENS, 2007)

Os condutores que formam a gaiola de esquilo têm características próprias conforme o porte dos motores. Para motores de menor porte, geralmente são em alumínio fundido dentro das próprias ranhuras em conjunto com os anéis de curto-circuito. Para motores de potências mais elevadas, estes condutores podem ser barras de cobre, de alumínio ou de outras ligas condutoras, inseridas nas ranhuras e soldadas aos anéis de curto-circuito. Na Figura 3.13, tem-se o rotor tipo gaiola de esquilo em corte.

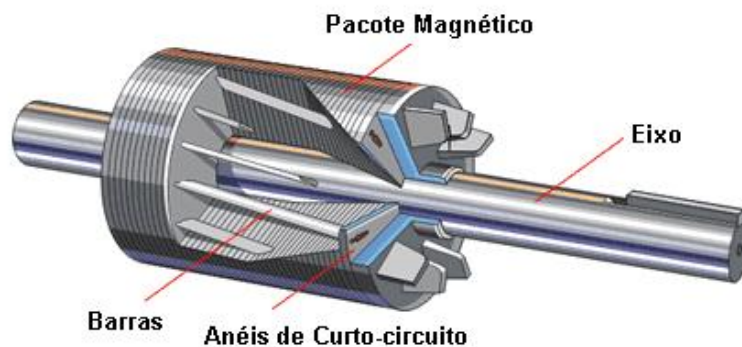


Figura 3.13 Rotor tipo gaiola de esquilo em corte (SIEMENS, 2007)

O motor de indução é o motor de construção mais simples. O estator e o rotor são montados solidários com um eixo concêntrico. O espaço entre o estator e o rotor é denominado de entreferro. Este espaço deve ser o mais uniforme possível, pois é nele onde se dá a concatenação dos fluxos magnéticos que produzem o torque no rotor.

Além dos principais componentes já descritos, os motores de indução trifásicos têm ainda as seguintes partes: eixo (7), tampas (4), caixa de ligações e terminais (9 e 10), ventoinha e sua proteção (5 e 6) e mancais (11) conforme mostrados na Figura 3.14.

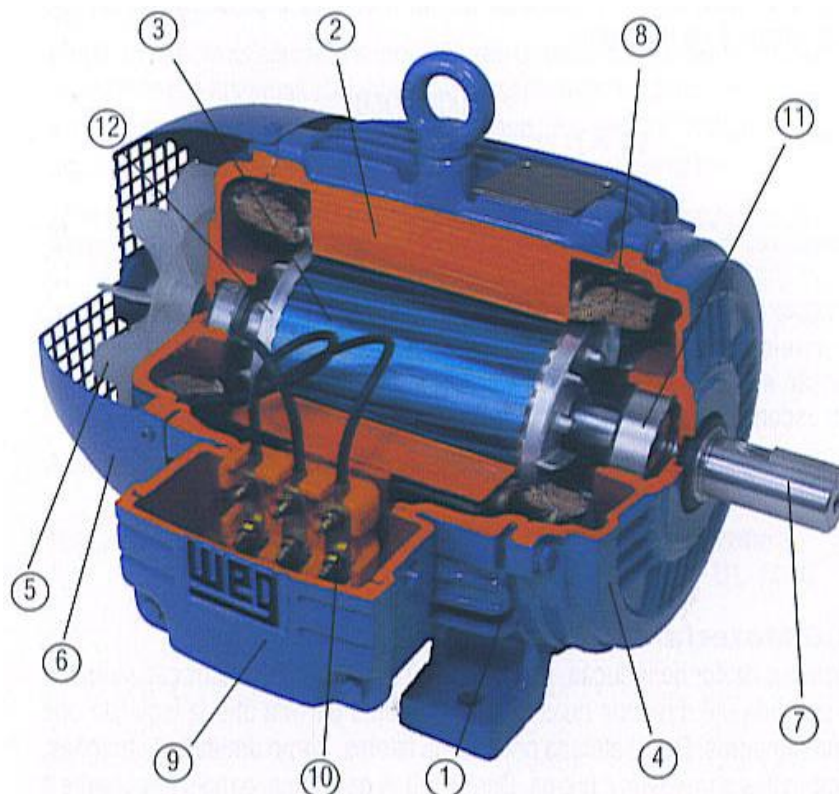


Figura 3.14 Componentes do Motor de Indução Trifásico (WEG, 2005)

3.7 Fundamentação Teórica

Do ponto de vista de sua isolação, um motor elétrico pode ser modelado conforme o diagrama da Figura 3.15, onde **R**, representa a resistência do isolamento, que no caso ideal é infinita, e **C**, que é a capacitância própria do arranjo e depende do material isolante, dos bobinados de cobre, da armadura de ferro e da conexão com a terra.

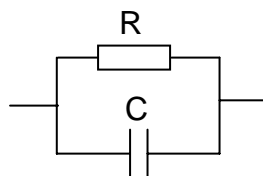


Figura 3.15 Representação da isolação do motor

Esforços de várias naturezas sobre os bobinados criam diferentes caminhos para as correntes de fuga (entre as partes energizadas e a terra). Ou seja, as diferentes solicitações de natureza elétrica, mecânica e mesmo ligada

ao ataque químico, dão lugar a uma diminuição da resistência de isolamento dos bobinados.

Quando se aplica uma tensão contínua a uma isolação, várias correntes aparecem, como ilustra a Figura 3.16.

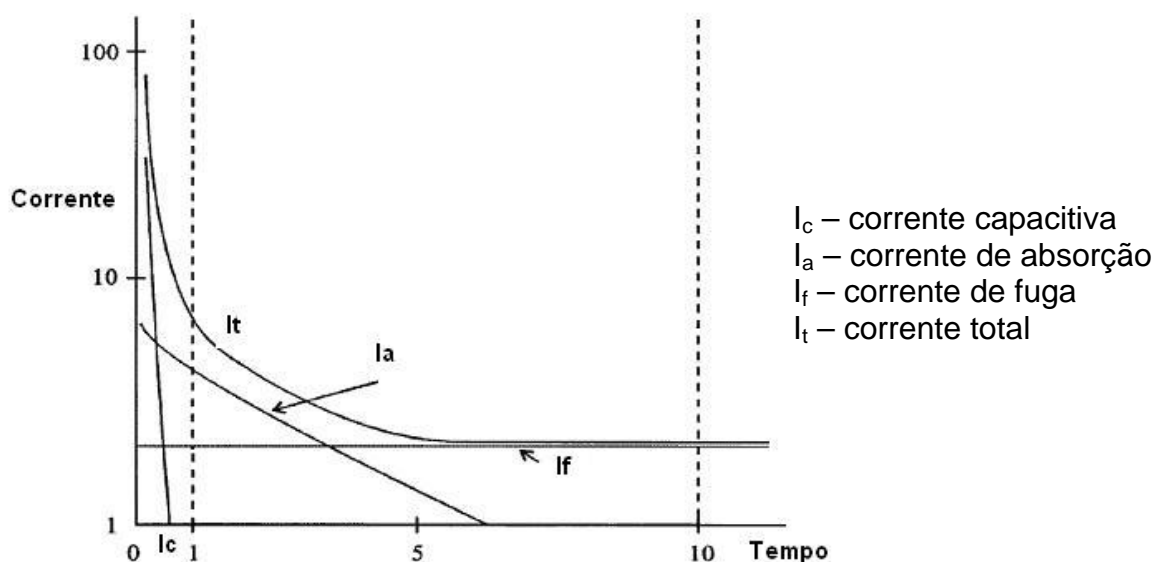


Figura 3.16 Comportamento da isolação ao potencial contínuo (std-43, 2000)

A corrente capacitiva (I_c) é devido à capacitância geométrica do arranjo e tem curta duração. O aparecimento desta componente da corrente não afeta a medida da isolação, que geralmente é feita após um minuto de teste. A corrente de absorção ou polarização (I_a) é causada pela mudança de orientação dos dipolos moleculares dos materiais isolantes. Estes materiais são geralmente orgânicos (vernizes, resinas, etc.) usados na impregnação dos bobinados e sofrem polarização sob o efeito de um campo elétrico. O tempo de duração desta componente da corrente é de alguns minutos e varia em função das características dos materiais e do valor da tensão aplicada.

A corrente de fuga (I_f) é uma corrente superficial e constante no tempo. Esta corrente depende do estado de contaminação dos bobinados (óleo, poeira condutora ou higroscópica, sais, etc.) e da presença de umidade condensada no interior do equipamento std-43 (2000). A condensação da água se dá quando a temperatura do bobinado se encontra abaixo da temperatura do ponto de orvalho, que depende principalmente da umidade relativa do ar no

local de instalação. Este fenômeno pode ser mais pronunciado se existirem trincas, fissuras ou processo de carbonização do material isolante.

As várias componentes de corrente descritas anteriormente, somadas ao longo do tempo, resultam na corrente de fuga total (I_t), que será medida pelos instrumentos de teste de resistência de isolamento.

Em termos de circuito elétrico, os bobinados dos motores podem ser caracterizados de forma simplificada por uma impedância, como mostra a equação 3.3, onde r é a resistência das bobinas, x_l é a reatância indutiva das bobinas e x_c é a reatância capacitiva das bobinas.

$$Z = r + j (x_l - x_c) \quad (3.3)$$

A reatância capacitiva, principalmente nos motores de baixa tensão, é pouco representativa em face à resistência e a reatância indutiva. Dessa forma a equação 3.3 pode ser simplificada conforme a equação 3.4.

$$Z = r + j x_l \quad (3.4)$$

A reatância indutiva equação 3.5 depende fundamentalmente da frequência (f) e da indutância (L) que é diretamente proporcional ao número de espiras do bobinado conforme mostrado na equação 3.6, portanto bastante sensível a este parâmetro.

$$x_l = 2 \cdot f \cdot \pi \cdot L \quad (3.5)$$

A indutância (L) é dada pela equação 3.6, onde μ_o é a permeabilidade magnética do vácuo, μ_r é a permeabilidade magnética do ferro, S_m é a seção do núcleo magnético, N é o número de espiras da bobina e l_b é o comprimento da bobina.

$$L = (\mu_o \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot S_m) / l_b \quad (3.6)$$

Para uma bobina onde a geometria e as características dos materiais de seu núcleo não variam, e para uma tensão de alimentação com frequência constante, pode-se dizer que sua impedância (Z) é uma função do quadrado do número de espiras (N), equação 3.7, onde K é a constante que

compreende as características da bobina, do núcleo magnético e da frequência de alimentação.

$$Z = K \cdot N^2 \quad (3.7)$$

A resistência (r), também varia com o número de espiras (N), mas relativamente muito menos do que a reatância indutiva, conforme equação 3.8, onde ρ é a resistividade do material em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, l_f é o comprimento do fio em metros e S_f é a seção transversal do fio em mm^2 .

$$r = \rho \cdot l_f / S_f \quad (3.8)$$

Considerando que o comprimento l' do condutor, que forma uma bobina, pode ser expresso como uma função do número de espiras desta bobina, então a resistência (r) pode ser escrita pela equação 3.9, onde K' é a constante que compreende a resistividade e seção transversal do fio.

$$r = K' \cdot N \quad (3.9)$$

Comparando-se as equações 3.8 e 3.9 e observando-se o gráfico da Figura 3.17, verifica-se que para uma pequena variação do número de espiras de uma bobina o efeito no valor da impedância é muito superior do que no valor da resistência Ôhmica desta mesma bobina.

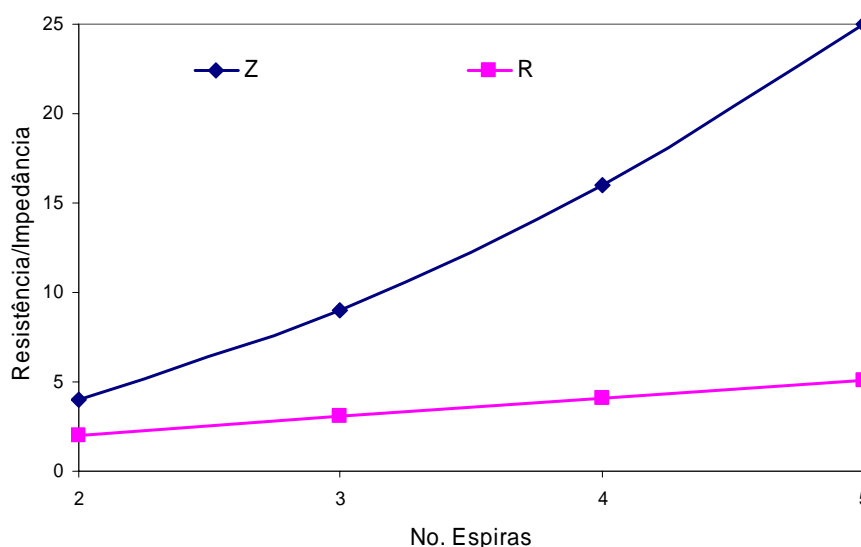


Figura 3.17 Impedância e resistência em função do número de espiras

Portanto, a medição de impedância é capaz de identificar falhas envolvendo espiras de forma mais precoce que a medição de resistência Ôhmica, método tradicionalmente utilizado.

O comportamento da resistência em função da frequência se deve ao efeito pelicular, ou seja, da tendência dos portadores de carga elétrica (elétrons) se distribuírem na superfície externa dos condutores. Entretanto, tal comportamento só passa a ser importante em frequências elevadas.

Deste modo, quando um bobinado é submetido a uma tensão alternada, cuja frequência varia numa determinada faixa entre f_1 e f_2 , sua impedância varia graças ao aumento da sua reatância indutiva. Este comportamento pode então ser usado como um mecanismo confiável e suficientemente sensível para a identificação de curtos-circuitos entre espiras ou entre bobinas.

Neste projeto adotou-se a medição de espectro de impedância como meio de avaliação da condição de bobinas de motores, diferentemente dos métodos usados em sistemas disponíveis no mercado, relatados no Capítulo 2.

3.8 Pesquisa Sobre a Utilização de Motores na Indústria

A fim de identificar a distribuição dos diferentes tipos de motores na indústria (de Corrente Contínua, de Indução de Média Tensão e de Indução de Baixa Tensão), elaborou-se um formulário (vide Apêndice A). Estes formulários foram distribuídos por correio eletrônico (*e-mail*) para as listas da Mecatrônica (listasmecatronica@ufba.gov.br), as redes de trabalho do Yahoo, a Rede Família Manutenção (manutencao@yahoo.com.br) e a Rede Industrial (redindustriale@yahoo.com.br). Foram também contatadas as indústrias do Pólo Petroquímico de Camaçari-BA e de outros estados da federação. Retornaram 37 questionários de várias indústrias, de diferentes ramos de atividades, cujas informações tratadas encontram-se detalhadas no Apêndice A.

Na Figura 3.18, tem-se a distribuição dos motores por tipo, comprovando o esperado, ou seja, 95% dos motores utilizados na indústria são de indução trifásicos com rotor tipo gaiola de esquilo.

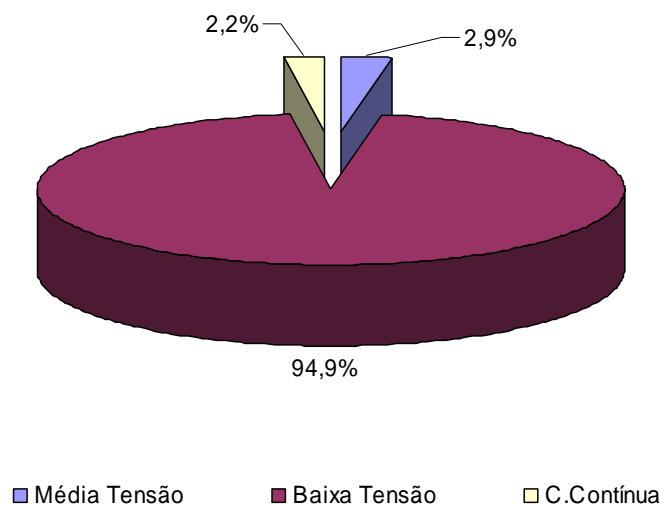


Figura 3.18 Distribuição de motores por tipo

Os motores de corrente contínua, em decrescente aplicação, em virtude da popularização dos sistemas de acionamento com frequência variável, inversores de frequência (*drives*), apareceram como 2,2% do total dos motores pesquisados. Este tipo de motor ainda é usado, principalmente, nas indústrias metalúrgica e siderúrgica nos processos de laminação, calandragem e/ou trefilação.

Os MITs de média tensão figuram com aproximadamente 3% do universo pesquisado, justificando o uso deste tipo de máquina em cargas que requerem potências mais elevadas, geralmente acima de 110 kW.

Os motores de BT foram escolhidos para serem foco de estudo deste projeto, por representarem a grande maioria dos motores instalados nas indústrias e por desempenharem funções importantes nos processos produtivos destas.

3.9 Processo de Falha

Os motores elétricos sofrem vários tipos de solicitações (*stress*) de origem térmica, mecânica, elétrica ou causada pelo meio ambiente onde estão instalados, Tabela 3.1 (BONNETT, 2004a).

A grande maioria das falhas de motores é causada pela combinação de mais de um tipo de solicitação. Estas solicitações atuam nos componentes

dos motores, e as falhas ocorrem quando ultrapassam os limites de projeto. Na Tabela 3.2 tem-se mais detalhadamente as relações entre cada tipo de esforço e os componentes de um motor elétrico (BONNETT, 2004b).

Tabela 3.1 Solicitações a que estão submetidos os motores elétricos (BONNETT, 2004a)

Tipo de Esforços (<i>Stress</i>)	Componentes do Motor				
	Mancal	Estator	Rotor	Eixo	Carcaça
Térmico	✓	✓	✓	✓	✓
Elétrico	✓	✓	✓		
Mecânico	✓	✓	✓	✓	✓
Dinâmico	✓	✓	✓	✓	✓
Residual			✓	✓	✓
Eletromagnético	✓	✓	✓	✓	
Ambiental	✓	✓	✓	✓	✓

Como pode-se notar, estes esforços atuam sobre determinados componentes dos motores e constituem as causas das falhas destes equipamentos.

Campanhas de observação e acompanhamento (*surveys*) têm sido realizadas por algumas entidades de pesquisa, objetivando mapear quais, quantos e como os componentes dos motores falham. O *Electric Power Research Institute* (EPRI) realizou uma pesquisa que teve como resultado a distribuição de falhas por componente do motor, conforme mostrado na Figura 3.19 (BRANCATO, 1991).

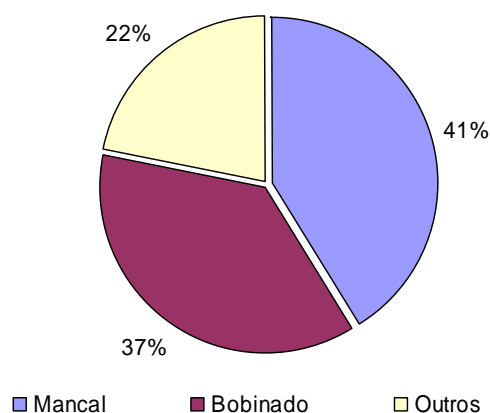


Figura 3.19 Estatística de falhas em motores elétricos – EPRI

Tabela 3.2 Componentes dos motores elétricos x *stress* (BONNETT, 2004b)

Componentes do Motor	Tipo de Esforço (<i>Stress</i>)	Verdadeiro Esforço (<i>Stress</i>) ou Dano
Mancal	Térmico	Fricção, lubrificante, ambiente.
	Carga dinâmica ou estática	Radial, axial, pré-carga, má aplicação.
	Vibração e choque	Rotor, equipamento acionado, sistema.
	Ambiental	Condensação, material estranho, intempéries, ventilação deficiente.
	Mecânico	Perda da folga, desalinhamento, ajuste com eixo ou caixa do mancal.
	Elétrico	Assimetria do rotor, acoplamento eletrostático, cargas estáticas, inversores de frequência.
Estator	Térmico	Envelhecimento térmico, sobrecarga térmica, variação de tensão, desbalanço de tensão, ambiente, ciclo de carga, partida e retardamento, ventilação deficiente.
	Elétrico	Envelhecimento dielétrico, transiente de tensão, descargas parciais (corona), trilhamento (<i>tracking</i>)
	Mecânico	Movimento do bobinado, danos nos cabos de ligações, não apropriada geometria do rotor/estator, rotor defeituoso, objetos voadores.
	Ambiental	Umidade, produtos químicos, ventilação deficiente, intempéries.
Rotor	Térmico	Sobrecarga térmica, desbalanço térmico, perda elétricas em excesso, pontos quentes/faíscas, sentido de rotação incorreto, rotor bloqueado.
	Dinâmico	Vibração, barras folgadas, atrito do rotor, transiente de torque, força centrífuga ou sobrevelocidade, esforços cíclicos.
	Mecânico	Defeitos de fundição/vazios, lâminas ou barras folgadas, incorreto ajuste entre eixo e pacote, fadiga ou parte quebrada, não apropriada geometria do rotor/estator, material não conforme, montagem indevida, projeto e fabricação imprópria
	Ambiental	Corrosão, abrasão, material estranho, ventilação deficiente, intempéries, não usual forças externas.
	Magnético	Rotor <i>pullover</i> , tração magnética irregular (<i>uneven magnetic pull</i>), saturação do núcleo, ruído, correntes circulantes, efeito eletromagnético.
	Residual	Concentração de esforços, esforço irregular na gaiola do rotor (<i>uneven cage stress</i>).
	Miscelânea	Má aplicação, efeitos devido ao projeto, variações de fabricação, manutenção inadequada, operação indevida, problema de montagem.
Eixo	Dinâmico	Ciclos de carga, sobrecarga, choque.
	Mecânico	Carga radial e empenamento, carga torsional, carga axial.
	Ambiental	Corrosão, umidade, erosão, desgaste.
	Térmico	Gradientes de temperatura, arqueamento do rotor (<i>rotor bowing</i>).
	Residual	Processo de fabricação, processo de reparo.
	Eletrromagnético	Carga radial excessiva,

O IEEE conduziu pesquisa semelhante, cujas informações são mostradas na Figura 3.20. Os resultados, praticamente, não diferem do estudo anterior.

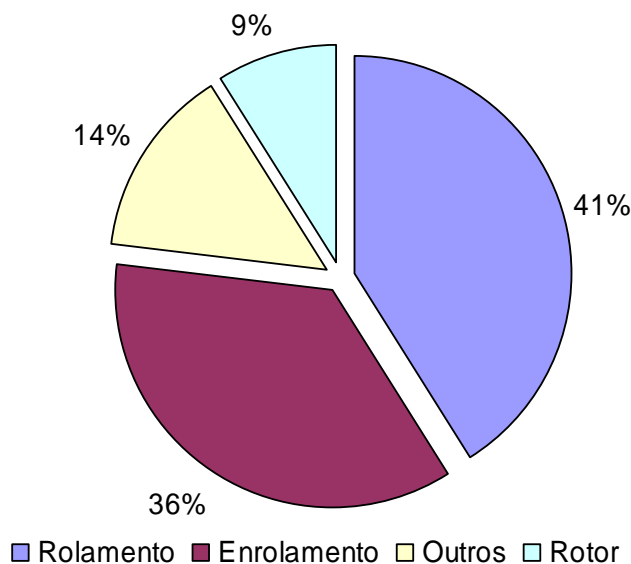


Figura 3.20 Estatística de falhas em motores elétricos – IEEE

Em ambos os estudos as falhas em mancais, como também as falhas relacionadas com os bobinados, foram as mais frequentes. Para testar e monitorar as falhas em mancais existem técnicas tais como a análise de vibração, o ultra-som, a termografia, a análise de óleo, entre outras. Em contrapartida, para a detecção precoce de falhas incipientes nos bobinados a tecnologia pouco evoluiu, deixando em aberto a possibilidade para o desenvolvimento de novas técnicas. Dentro deste enfoque, será apresentado no Capítulo 4 um sistema de aquisição de dados para monitorar e prever falhas de bobinados de motores elétricos de baixa tensão.

Capítulo 4 Desenvolvimento do Sistema

4.1 Introdução

Para comprovação experimental das idéias e conceitos explorados no Capítulo 3, foi montada uma bancada de teste e desenvolvida uma interface para aquisição automatizada de dados. A seguir serão apresentadas as diferentes partes e funções do sistema desenvolvido, como também será discutida a filosofia do programa de controle e aquisição de dados, chamado de SMAM – Sistema de Monitoramento Automático de Motores.

4.2 Montagem Experimental

A bancada de testes montada no Laboratório de Propriedades Óticas do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia, foi composta dos seguintes equipamentos:

- Motores elétricos para teste

Tabela 4.1 Características dos Motores

Características	Motor-1	Motor-2	Motor-3
Tipo	indução trifásico		
Potência	1,1 kW	0.75 kW	
Freqüência	60 Hz		
Tensão	440 V		
Fabricante	WEG	SIEMENS	sem informação
Nº de Pólos	4	4	sem informação
Nº de Ranhuras	ANEXO A	36	sem informação
Tipo de Bobinado		concêntrico de camada única	sem informação
Passo		1:8:10:12	sem informação

- Fonte de tensão CA com freqüência variável (F_1 na Figura 4.1)
 - MFG-4201 – 2 MHz *Sweep Function Generator*, fabricante Minipa;
- Voltímetros de precisão (V_1 , V_2 e V_{cc} na Figura 4.1)
 - MDM-8166 – *True RMS Digital Multimeter*, fabricante Minipa;
- Ponte
 - RLC *Bridge*, fabricante Tettex, AG
- Megômetro
 - FT-266C *Clamp Meter*, fabricante Ftg
 - *Insulation Tester* modelo 3213A, fabricante Yokogawa

- Caixa de conexões para testes, montada conforme esquema apresentado na Figura 4.1.

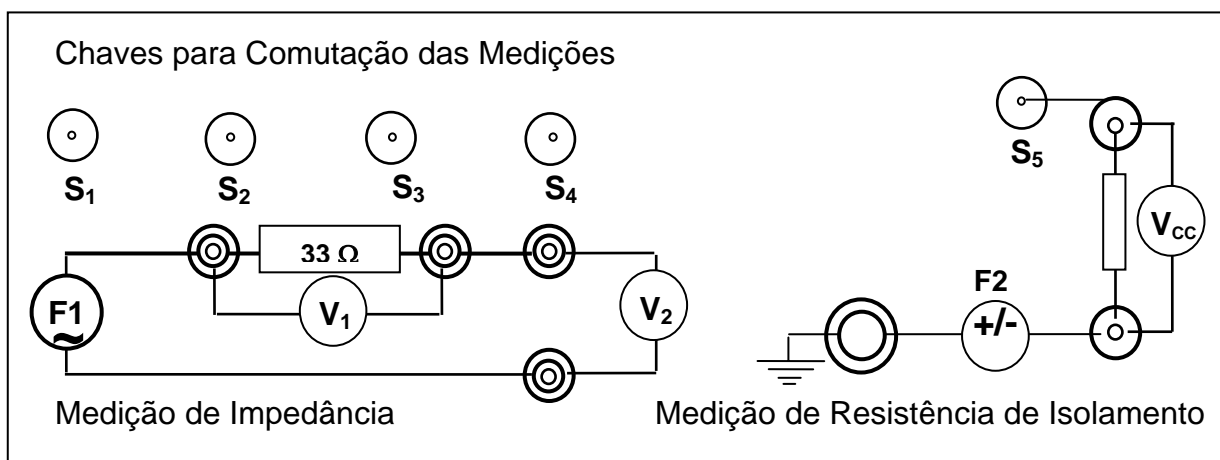


Figura 4.1 Vista frontal da caixa de conexões

Para medição de impedância, a caixa disponibiliza externamente os terminais de conexão da fonte de CA (F_1), dos voltmímetros V_1 e V_2 , além das chaves S_1 à S_4 , o que possibilita a comutação dos bobinados do motor em teste. Internamente, um resistor de 33Ω serve à medição indireta da corrente, pela queda de tensão sobre este componente.

Por outro lado, para medição da resistência de isolamento, estão acessíveis, na parte frontal da caixa, os terminais para conexão ao aterramento a uma fonte de $500 V_{cc}$, além do voltmímetro V_{cc} e da chave S_5 , que permite a aplicação da tensão contínua entre o bobinado e a carcaça do motor. Ainda na parte interna se encontram o resistor de queda de $10 k\Omega$ para medição da corrente de fuga, entre bobinado e carcaça, e a fiação que compõe este circuito.

Na parte traseira da caixa estão disponíveis três terminais para conexão dos cabos do motor de indução trifásico, conforme mostrado na Figura 4.2.

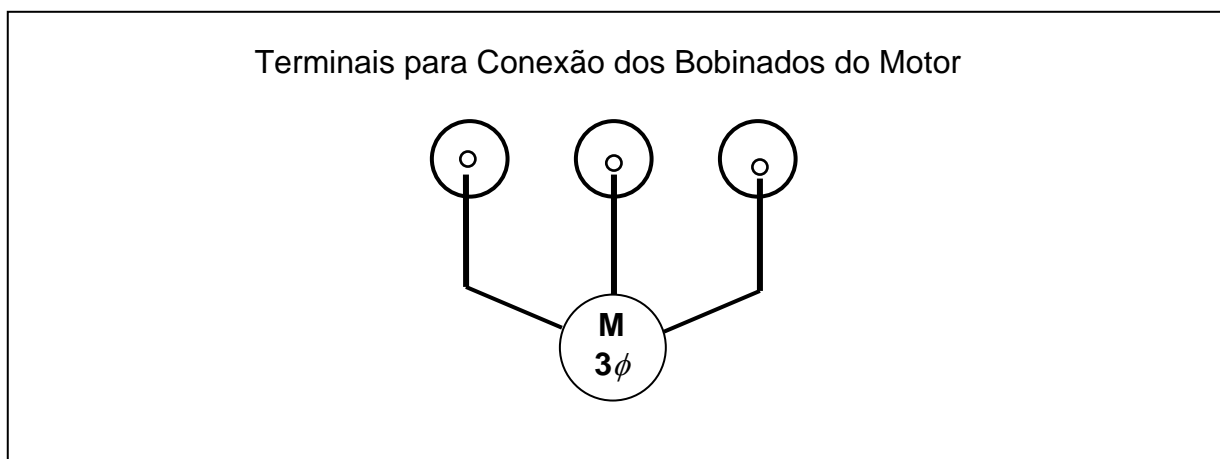


Figura 4.2 Vista traseira da caixa de conexões

4.3 O Protótipo de Teste

O diagrama de blocos da Figura 4.3 dá uma visão geral do protótipo de testes montado no laboratório, tendo por finalidade o teste dos conceitos explorados neste trabalho. Este diagrama mostra um modelo reduzido do sistema proposto para o monitoramento de plantas industriais.

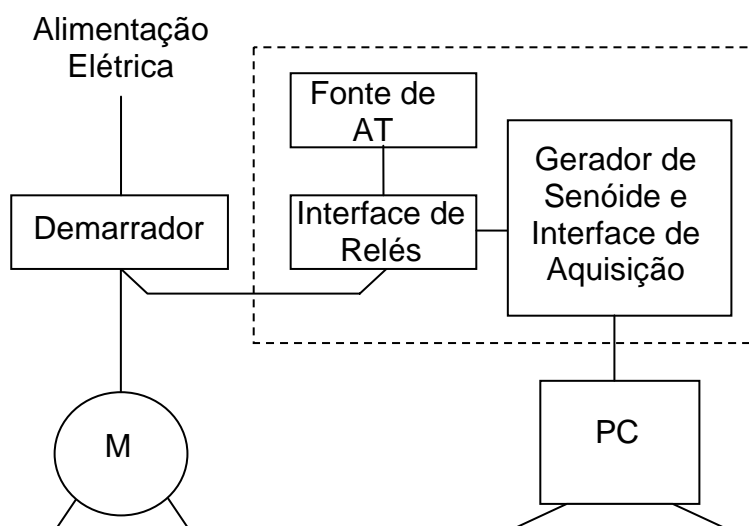


Figura 4.3 Sistema de monitoramento

O Demarrador Industrial da Figura 4.3, é composto de componentes típicos usados na indústria como: fusíveis diazed, contator de força, contator auxiliar, relé térmico, borneira e botoeiras.

A interface de relés foi montada com relés eletromecânicos de 24 V_{cc}, comandados através de um circuito eletrônico que recebe os sinais da porta paralela de um PC. Para desacoplar eletricamente o circuito de controle do PC e a etapa de força, foram usados acopladores ópticos e transistores.

A fonte de alta tensão (500 V_{cc}) foi a base do sistema de medição da isolação do motor. Inicialmente tentou-se o uso de um transformador elevador acoplado a uma ponte retificadora de onda completa e um filtro capacitivo. Esta idéia foi descartada devido às dificuldades de encontrar transformadores comerciais com tensão secundária tal que, após a retificação, fornecessem 500 V_{cc} (Tensão Secundária CA = 500 / 1,42). Além do que, peso e dimensões deste dispositivo foram levados em consideração. Em substituição à configuração inicial, usou-se um conversor CC/CC de uma Unidade de Teste de Isolação MI-261, de fabricação Minipa, que é um acessório para os Multímetros série 3200 também da Minipa que incorpora a função de Megômetro. Durante os testes, este dispositivo não apresentou resultados satisfatórios, pois a tensão de saída caía quando se media valores de resistências abaixo de 10 MΩ, justamente na faixa de valores de maior interesse do projeto. Retornou-se então à idéia inicial, porém foi usada uma associação de transformadores de forma a se obter os 500 V_{cc} após a retificação.

O bloco que compreende o Gerador de Senóide e a Interface de Aquisição de dados foi desenvolvido a partir de uma placa de uso geral, previamente projetada pela equipe do LaPO. Esta é composta por dois conversores analógicos digitais, *buffers* de saída de dados, *latch* de entrada de controle e decodificador de endereçamento, além de uma área livre (tipo circuito impresso universal) para montagem de outros circuitos complementares ou auxiliares (tratamento de sinais, comutações, etc.).

O processo de monitoramento se inicia com o programa de aquisição e controle, verificando o *status* dos motores, ou seja, testando a porta de entrada de dados digitais da interface desenvolvida para comunicação paralela. Caso um determinado *bit* esteja em nível alto, um comando é enviado para que um relé de intertravamento bloqueie uma possível energização do motor. Em seguida, outro relé é acionado e aplica 500 V_{cc} durante um minuto aos bobinados do motor. Ao final deste tempo, determinado por um relógio

virtual, é habilitado o processo de aquisição da corrente de fuga por um ADC (*Analog to Digital Converter*). O sinal analógico de corrente de fuga para a terra é digitalizado e enviado ao PC onde é armazenado em um arquivo tipo texto para posterior análise.

Em seguida, os relés para medição de impedância são acionados em seqüência de forma a medir esta grandeza entre cada par de terminais do motor (L_1L_2 ; L_2L_3 e L_3L_1). Da mesma forma os sinais são digitalizados e os dados enviados pela porta paralela para o PC, onde são gerados arquivos com o mesmo formato. Neste momento, o relé de intertravamento é desenergizado, dando condição para que o motor seja ligado segundo a demanda.

4.4 Os Ensaaios em Bancada

Os ensaios se dividiram em dois conjuntos, sendo um deles responsável pelo levantamento dos espectros de impedância dos bobinados do motor e o outro usado para verificar o comportamento da isolação das bobinas em relação à carcaça.

4.4.1 Espectro de Impedância

Para levantar os espectros de impedância, aplicou-se tensão nas bobinas do motor, com valores definidos de freqüência, e mediu-se esta tensão aplicada e a corrente demandada. Estes testes foram feitos para cada valor de freqüência entre os terminais de fase do motor, tanto com as bobinas conectadas em estrela quanto em triângulo. Foi então determinado o espectro de impedância destes bobinados na faixa entre 50 Hz e 1 kHz, para as seguintes situações:

- Motor em perfeitas condições de funcionamento, ou seja, sem avarias nos seus bobinados;
- Motor com curto-circuito entre espiras; submetido a sucessivos aumentos de percentual dos bobinados em curto-circuito.

Considerando que o diagrama mostrado na Figura 4.4 corresponde ao bobinado do motor, onde os 12 terminais estão acessíveis, pode-se então conectar as bobinas em ligação estrela (série ou paralela) ou triângulo (série ou paralelo), conforme diagrama da placa de ligação ilustrada pelo Apêndice B.

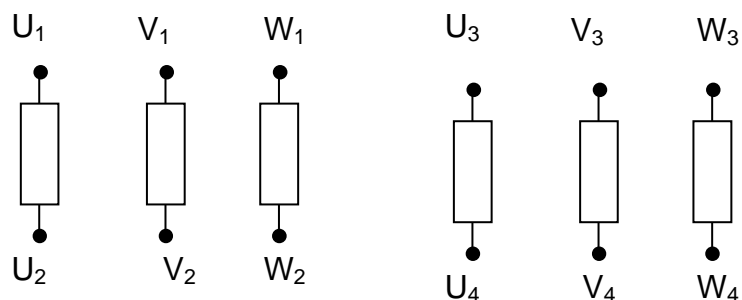


Figura 4.4 Diagrama dos bobinados

Na bobina compreendida entre os bornes W_1 e W_2 foram feitas algumas inserções e soldados fios que foram levados para caixa de ligações do motor como ilustra a Figura 4.5. Estas inserções possibilitaram a introdução de defeitos nos enrolamentos, ou seja, foram feitos curtos-circuitos entre espiras como mostra a Tabela 4.2.

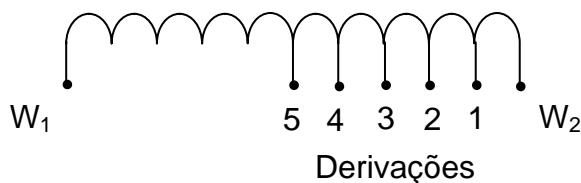


Figura 4.5 Bobinado com derivações

Tabela 4.2 Defeitos introduzidos

Defeito	Conexão	Resistência (Ω)	Percentual (%)
1 ^o	4 - 3	0,65	2,95
2 ^o	4 - 2	1,11	5,05
3 ^o	5 - 3	0,75	3,41
4 ^o	5 - 1	1,8	8,18
5 ^o	5 - W2	1,93	8,75
6 ^o	5 - W1	10,5	47,73

Os resultados obtidos nas medições anteriores estão organizados nas tabelas contidas no Apêndice C e serão comentados no Capítulo 5.

4.4.2 Resistência de Isolamento

Com relação à avaliação da resistência de isolamento, a estratégia adotada foi submeter os bobinados a um *spray* de água, visto que a isolação é bastante sensível à umidade, enquanto se aplicou tensão de 500 V_{cc}. Como era

esperada, a resistência de isolamento decresceu com o aumento da umidade interna da máquina.

4.5 Hardware Desenvolvido

Nos sub-itens seguintes faz-se o detalhamento dos vários blocos que compõem os circuitos eletrônicos desenvolvidos neste projeto.

4.5.1 Interface de Aquisição de Dados

A interface de aquisição usada foi desenvolvida no LaPO (ver ANEXO B) e comunica os dados, já na forma digital, pela porta de impressora configurada no modo SPP (*Standard Parallel Port*).

Existem três padrões de configuração da porta paralela que são usualmente usados, o SPP, o EPP (*Enhanced Parallel Port*) e o ECP (*Extended Capabilities Port*) e estão apoiados na norma std-1284 (1994).

A interface SPP também é chamada de porta de impressora *Centronics*, pois foi desenvolvida pela empresa *Centronics Data Computer Corporation* na década de 60, objetivando uma conexão paralela unidirecional de 8 bits, para comunicação entre computador e teletipos.

Com o surgimento dos computadores pessoais ou IBM PCs na década de 80, a IBM padronizou o uso de um conector DB-25 como porta de impressora. Esta porta é formada por oito linhas de dados, quatro linhas de controle e cinco linhas de *status*, conforme a Figura 4.6 Tabela 4.3.

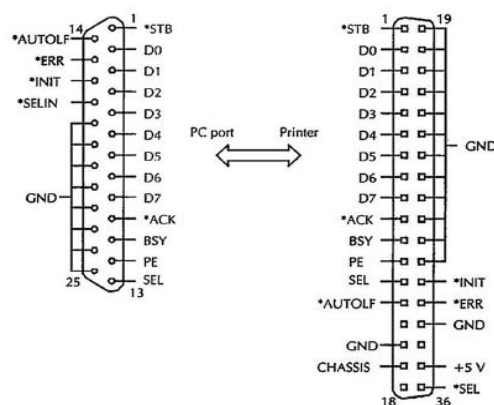


Figura 4.6 Conectores da porta paralela (lado direito DB-25 e esquerdo *Centronics*)
(www.lammertbies.nl/comm/cable/parallel.html)

Tabela 4.3 Pinagem da porta paralela

Pinos DB25	Pinos Centronics	SPP Signal	In/out	Register	Hardware Inverted
1	1	<i>nStrobe</i>	<i>n/Out</i>	<i>Control</i>	<i>Yes</i>
2	2	<i>Data 0</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
3	3	<i>Data 1</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
4	4	<i>Data 2</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
5	5	<i>Data 3</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
6	6	<i>Data 4</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
7	7	<i>Data 5</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
8	8	<i>Data 6</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
9	9	<i>Data 7</i>	<i>Out</i>	<i>Data</i>	
10	10	<i>nAck</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>	
11	11	<i>Busy</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>	<i>Yes</i>
12	12	<i>Paper-Out/Paper-End</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>	
13	13	<i>Select</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>	
14	14	<i>nAuto-Linefeed</i>	<i>In/Out</i>	<i>Control</i>	<i>Yes</i>
15	32	<i>nError / nFault</i>	<i>In</i>	<i>Status</i>	
16	31	<i>nInitialize</i>	<i>In/Out</i>	<i>Control</i>	
17	36	<i>nSelect-Printer / nSelect-In</i>	<i>In/Out</i>	<i>Control</i>	<i>Yes</i>
18 - 25	19 - 30	<i>Ground</i>	<i>Gnd</i>		

A porta paralela que havia sido desenvolvida originalmente exclusivamente para comunicação entre computador e dispositivo de impressão, pode ser usada como meio de entrada e saída de dados. Essa porta também possibilita a operação de outros dispositivos de entrada e saída como *scanners* e dispositivos externos de memória de massa, entre outros.

Existem três endereços possíveis para a porta paralela no modo SPP dentro da arquitetura de um PC, ou seja, endereços 3BCh, 378h e 278h (em hexadecimal). Esta escolha depende do fabricante, mas geralmente os PCs mais novos vêm com o endereço base 378h ou 888 em decimal. Durante a inicialização do PC, a BIOS (*Basic Input Output System*) verifica os endereços acima, de forma que o primeiro endereço válido será LP1, o segundo LP2 e finalmente LP3. É possível identificar o endereço base da interface paralela pelo acesso da tabela da BIOS no momento de inicialização do PC ou por meio de ferramentas disponíveis no ambiente *Windows*.

A porta paralela no modo SPP é composta de três blocos de registradores de I/O (*Input/Output*). Um bloco de dados PDR (*Printer Data Register*) que ocupa o endereço **base**, um bloco de *status* PSR (*Printer Status Register*) que se encontra no endereço **base + 1** e o último bloco de controle PCR (*Printer Control Register*) que se localiza no endereço **base +2**. No

ANEXO C tem-se os detalhes a distribuição dos *bits* de cada bloco de registros. Ainda neste anexo pode-se observar que apenas o registro de dados tem o *byte* com os oito *bits*, o que deve ser levado em conta durante a programação.

O processo de escrita e leitura na porta paralela através de *software*, resume-se simplesmente em acessar os endereços dos registros acima mencionados e ativar ou adquirir os *bits* conforme se deseje escrever ou ler.

O conjunto de circuitos (*hardware*) é constituído por dois ADC's, de fabricação *Burr-Brown/Texas Instruments*, modelo ADS7804AP, com 12 *bits* de resolução e taxa de amostragem de 100 kHz. Este dispositivo é composto por um *clock* interno, um registrador de aproximação SAR (*Successive Approximation Register*), um comparador, uma interface para uso com microprocessador com *latches* de saída paralela de três estados. Seu circuito de entrada tem tecnologia de amostragem/retenção (*Sample/Hold*) baseado em uma rede capacitiva, como pode ser verificado na Figura 4.7.

O sistema permite sinais de entrada no padrão industrial de $\pm 10 V_{cc}$, referência externa ou interna e alimentação de 5 Vcc com consumo máximo da ordem de 100 mW. Está disponível com 28 pinos Figura 4.8, encapsulado no formato DIP (*Dual In-Line Package*) ou SO (*Small Outline*), ambos especificados para trabalho em ambiente industrial com variação de temperatura entre $-40^{\circ}C$ e $85^{\circ}C$.

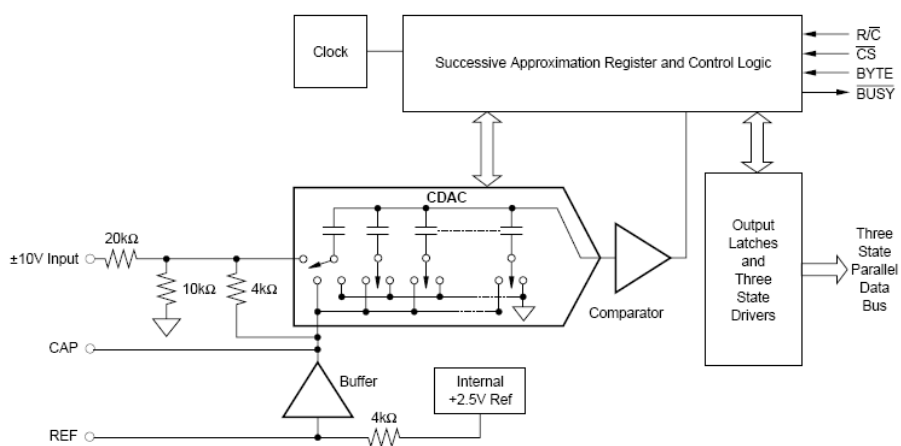


Figura 4.7 Diagrama esquemático do ADS7804AP (Texas, 2003)

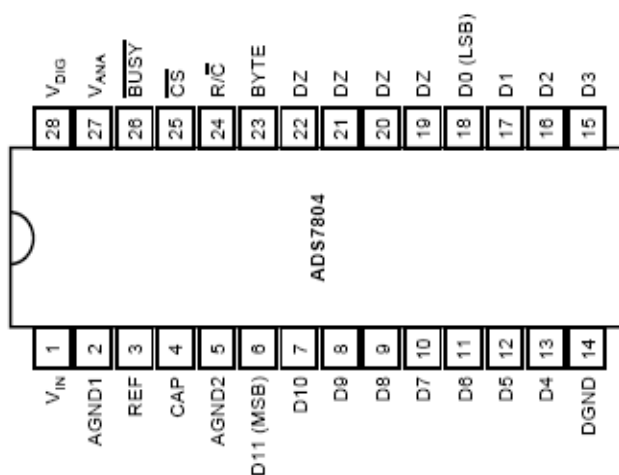


Figura 4.8 Distribuição dos pinos do ADC (Texas, 2003)

Os dados digitalizados pelos ADC's, como também os outros sinais produzidos pela interface de relés, são levados à porta paralela do PC por intermédio de dois *buffers* 74LS244 mostrados na Figura 4.9. Estes CIs (circuito integrado) são projetados especificamente para aumentar o desempenho e evitar ruído no endereçamento de memórias, controle de *clock* e transmissão de dados em barramentos longos.

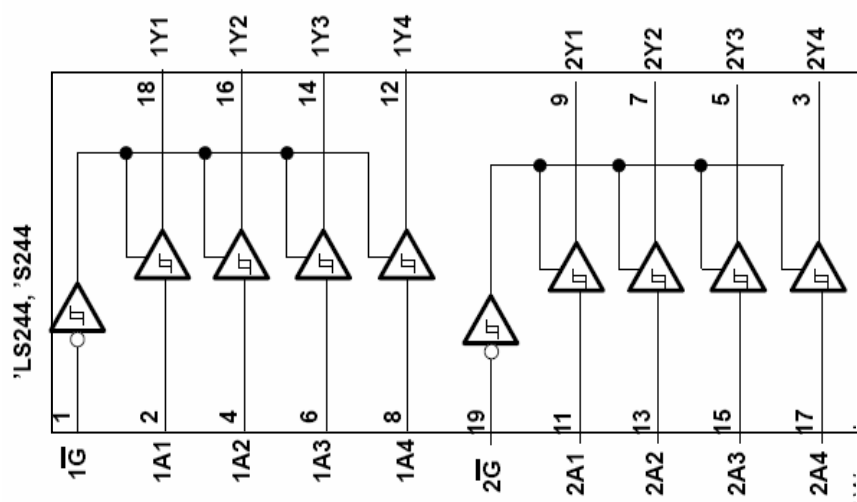


Figura 4.9 Buffer 74LS244 (Texas, 2002)

Os doze *bits* de saída de cada ADC, assim como os *bits* de *status* do terminal **J₄** (Diversos) estão distribuídos entre os dois *buffers* 74LS244, da seguinte forma:

- **D₀ à D₃** - **1A1 à 1A4** do primeiro *buffer* 74LS244;

- **D₄ à D₇** - **2A1 à 2A4** do primeiro *buffer* 74LS244;
- **D₈ à D₁₁** - **1A1 à 1A4** do segundo *buffer* 74LS244;
- **J₄ pinos 12, 11, 10 e 9** - **2A1 à 2A4** do segundo *buffer* 74LS244.

Das saídas destes *buffer* (**1Y1 à 1Y4** e **2Y1 à 2Y4**), os *bits* são enviados através do terminal J₂ da placa de interface para os pinos **15, 13, 12** e **10** da porta paralela. Para que esta transferência de informação ocorra se faz necessário um pulso nos terminais **1** ou **19** (**1G** negado ou **2G** negado) dos 74LS244. Observa-se que o envio da palavra completa de um ADC, ou seja, os 12 *bits*, é feita em três etapas ou três *nibbles*.

Da mesma forma, os *bits* de endereçamento e controle de seleção dos ADCs e *buffer*s são enviados do PC para interface de aquisição, chegando através de um *latch* 74LS374 onde são estocados, determinando um funcionamento seguro e estável destes *bits* de comando.

Os *latches* 74LS374 são CIs de três estados, formados por oito *Flip-Flops* que são engatilhados pela transição do *clock* de nível baixo para nível alto sendo mantido o **OC** (*Output Control*) em nível baixo. Nesta transição, os níveis lógicos presentes nas entradas **D**, desses *flip-flops*, são enviados para as saídas **1Q** à **8Q** dos mesmos, Figura 4.10. Estes *bits* permanecem estáveis, mesmos que outros níveis lógicos apareçam nas entradas dos *latches*, até que um novo pulso de *clock* seja enviado.

Os pinos de relógio ou *clock* destes CIs estão conectados aos pinos **1, 14, 16** e **17** da porta paralela, sendo observado no código de programação que parte destes *bits* tem lógica invertida. Os demais terminais de entrada **1D** à **8D** estão conectados respectivamente aos pinos **2** à **9** da porta paralela.

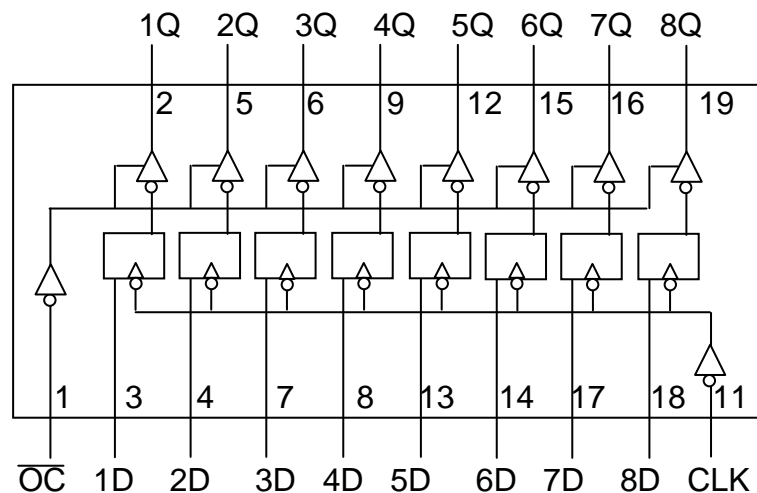


Figura 4.10 *Latch* 74LS374 (Texas, 2002)

Três outros *latches* 74LS374 foram adicionados a interface de forma a garantir a estocagem de mais 24 *bits* de informação digital. Estes *bits* são aplicados no comando e no controle de diferentes dispositivos (interface de relés, gerador de senóides digital, relé de medição, etc.).

Em paralelo com as entradas **1D**, **2D** e **3D** dos 74LS374, um 74LS138 serve ao mesmo tempo para endereçar as operações de entrada e saída de informação. Este CI é um decodificado/demultiplexador muito usado no endereçamento de memória e em aplicações de roteamento de dados. O 74LS138 habilita uma das oito linhas de saída (**Y0** à **Y7**), baseado na condição de três *bits* de entrada (*select* **A**, **B** e **C**) e outras três entradas (*enable*) onde duas estão em nível baixo (**G2A** e **G2B**) e outra em nível alto (**G1**) conforme mostrado na Figura 4.11.

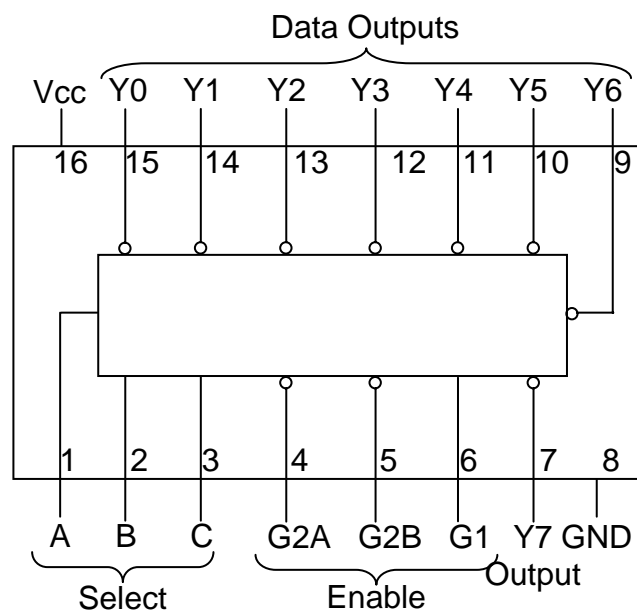


Figura 4.11 Decodificador 74LS138 (Fairchild, 2000)

Pode-se observar na Figura 4.12 que a combinação das entradas **A**, **B** e **C** varia de 000b (LLL) à 111b (HHH), ou seja, de 0 a 7 em decimal enquanto que uma das saídas vai passando para nível baixo de forma seqüencial. Desta forma por *software*, é perfeitamente possível selecionar qual saída será habilitada com nível baixo e conseqüentemente que componente deve ser ativado.

Inputs					Outputs							
Enable		Select			Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
G1	G2*	C	B	A								
X	H	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

*G2 = G2A + G2B H = High Level L = Low Level X = Don't Care

Figura 4.12 Tabela verdade do 74LS138 (Fairchild, 2000)

Neste projeto as entradas **A**, **B** e **C** estão associadas aos pinos **2**, **3** e **4** da interface paralela, enquanto as saídas **Y1**, **Y2**, **Y3** e **Y4** comandam os dois 74LS244 através de seus terminais **1G** e **2G** barrados. Por outro lado, as saídas de **Y0**, **Y5**, **Y6** e **Y7** que não foram utilizadas pelo sistema de conversão analógico digital, estão disponibilizadas na placa de interface em **J₄** (Diversos) terminais **8**, **7**, **6** e **5**.

Também foi prevista uma etapa analógica com um amplificador operacional para cada ADC, além de elementos passivos, que permitem configurar as entradas analógicas segundo as necessidades de cada aplicação.

4.5.2 Medição de Impedância

O sistema de medição do espectro de impedância é composto dos blocos descritos nos subitens seguintes.

4.5.2.1 Gerador de Senóides

Este bloco é composto por um CI de oito pinos, com encapsulamento *dual in line*, o ML2035 do fabricante *Micro Linear*. A frequência de sua tensão de saída pode ser ajustada digitalmente entre 0 a 25 kHz, usando para tanto uma palavra serial de 16 *bits*. A amplitude de saída das senóides varia entre $\pm V_{cc}/2$, ou seja $\pm 2,5$ V. A montagem é simples e praticamente não necessita de componentes externos, a não ser um cristal oscilador de 3 a 12 MHz conectado ao pino **8** (CLK IN) que serve de frequência de referência, ver Figura 4.13.

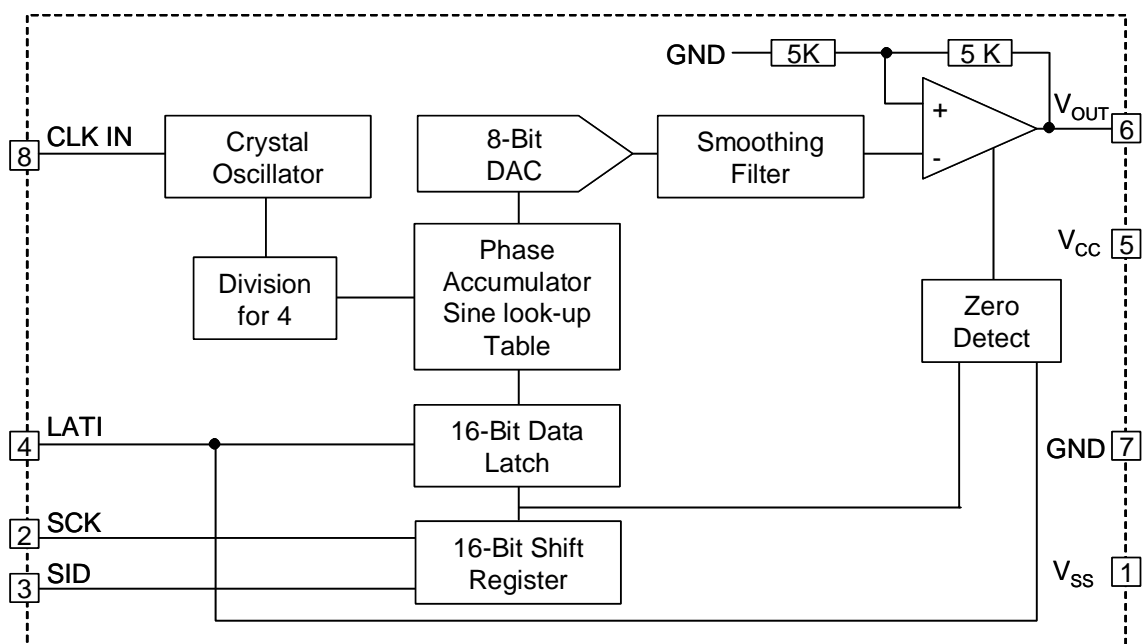


Figura 4.13 Diagrama esquemático do ML2035 (Micro Linear, 1997)

Funcionalmente, este CI é composto de quatro blocos: gerador de frequência programável, gerador de senóides, oscilador de cristal e interface digital.

O gerador de frequência é formado por um acumulador de fase que é ativado a cada um quarto da frequência de *clock* de entrada $f_{clk_{in}}$, ou seja, o valor armazenado no *latch* de dados é adicionado ao acumulador de fase a cada quatro ciclos de $f_{clk_{in}}$. A frequência do sinal analógico de saída é igual à razão entre a palavra guardada no acumulador, multiplicada pela frequência do *clock* e a base dois elevada à vigésima terceira potência. A frequência de saída (f_{out}) é dada pela equação 4.1, $f_{clk_{in}}$ é a frequência de *clock* e **(Palavra)_d** é a palavra de 16 *bits* em decimal.

$$f_{out} = (f_{clk_{in}} \times (\text{Palavra})_d) / 2^{23} \quad (4.1)$$

O gerador de senóides é composto por uma tabela de busca (*look-up table*), um DAC (*Digital to Analog Converter*) e um filtro de alisamento de sinal de saída. A *sine look-up table* é uma tabela de busca formada por endereços de valores de senos que são estocados no acumulador de fase. Então o DAC recebe valores pontuais de senos desta tabela, Figura 4.14 (a), e gera uma representação da senoide em degraus conforme pode ser visto na

Figura 4.14 (b). Um filtro tipo passa-baixa, que tem por finalidade remover as componentes de alta frequência, tem como resultado a forma de onda da tensão de saída senoidal como mostrado na Figura 4.14 (c). A rejeição das harmônicas de segunda e terceira ordem é melhor que 45 dB em relação a fundamental.

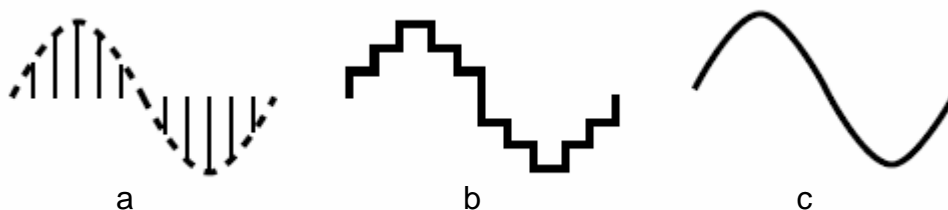


Figura 4.14 Formas de onda no gerador de senóide (Micro Linear, 1997)

O oscilador de cristal fornece uma precisa referência de *clock* para o gerador programável de frequência. O *clock* interno pode ser gerado por um cristal ou por *clock* externo. Na opção de uso de cristal externo, este deve ser do tipo paralelo ressonante com frequência entre 3 e 12,4 Mhz e conectado fisicamente o mais próximo do CI e entre os terminais **CLK IN** e **GND** (terra).

A interface digital consiste num *shift register* (registrador de deslocamento) e um *latch* de dados. A palavra digital de 16 *bits* é armazenada no *shift register* através do pino **SID** (*Serial Input Data*) na subida do sinal de *clock* aplicado em **SCK** (*Serial Clock*). A seqüência de entrada dos *bits* é iniciada com o LSB (*Least Significant Bit*) e termina com MST (*Most Significant Bit*). Estes *bits* são transferidos do registrador de deslocamento para o registro de dados, na transição de descida do nível do sinal injetado no pino **LATI** (*Latch In*). Este sinal deve ser mantido em nível baixo enquanto os dados estão armazenados no *shift register*, para evitar que o CI entre em estado *power down mode*, ou seja, modo no qual o consumo de energia é mínimo e a tensão de saída é nula, independentemente da condição do **CLK IN**.

4.5.2.2 Amplificador

Para garantir um sinal de tensão suficientemente forte e capaz de efetuar a medição de impedância independente da carga, foi projetada uma etapa de amplificação. Esta função foi implementada usando-se um

amplificador modelo OPA544 fabricado pela Burr Brown. Este CI é um amplificador operacional de potência que trabalha com níveis elevados de tensão e corrente ($V_{in} \pm 10$ à ± 35 V e $I_{out} = 2$ A). Este amplificador tem variadas aplicações em cargas de potência, tais como, fontes programáveis, *drivers* de motores, atuadores de válvulas e amplificadores de áudio. O alto desempenho deste componente se deve ao uso de tecnologia FET (*Field Effect Transistor*) do amplificador operacional e no estágio de potência de saída. O OPA544 está disponível em encapsulamento de padrão industrial com cinco terminais TO (*Transistor Outline*) com superfície de cobre que permite fácil montagem em dissipador de calor e excelente dissipação de calor como mostrado na Figura 4.15. No Apêndice B, tem-se o diagrama completo do circuito com aplicação deste amplificador.

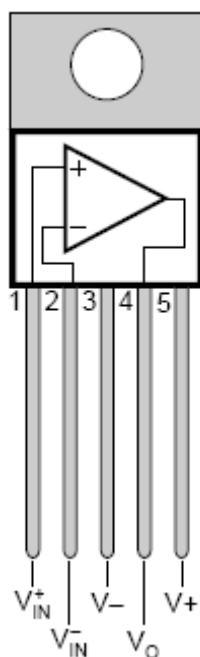


Figura 4.15 Esquemático do Amplificador (Burr Brown, 1995)

4.5.2.3 Condicionamento de Sinal

Para a determinação da impedância se faz necessário medir a tensão aplicada aos bornes do motor e a corrente que circula pelo bobinado. A corrente é medida de forma indireta através da queda de tensão sobre uma resistência enquanto que a tensão é medida diretamente. Estes sinais, para serem adquiridos pelo ADC, precisaram ser retificados de forma que não haja

perda de precisão na medição. Os diodos retificadores comuns têm uma tensão de barreira (V_f) da ordem de 0,6 V, para os componentes de Silício, e de 0,3 V para os de Germânio. Na Figura 4.16, tem-se as curvas de característica de um diodo ideal e do real.

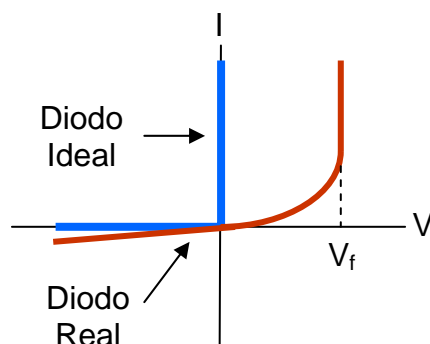


Figura 4.16 Curvas características de diodos

Os valores de tensão de limiar de condução dos diodos são grandes, se comparados aos sinais que serão medidos. Por esta razão os retificadores tradicionais de onda completa em ponte não são recomendados para esta aplicação. Assim sendo, optou-se por retificadores de precisão, um para a medição de corrente, enquanto o outro faz a medição da tensão.

Estes circuitos são montados a partir de dois amplificadores operacionais em configuração seguidor de tensão, com um diodo em sua malha de realimentação, o que forma um “superdiodo” ou “retificador de precisão” como mostra o esquema simplificado da Figura 4.17. O esquema completo, inclusive com as especificações e os valores dos componentes da solução adotada neste projeto, encontra-se no Apêndice B.

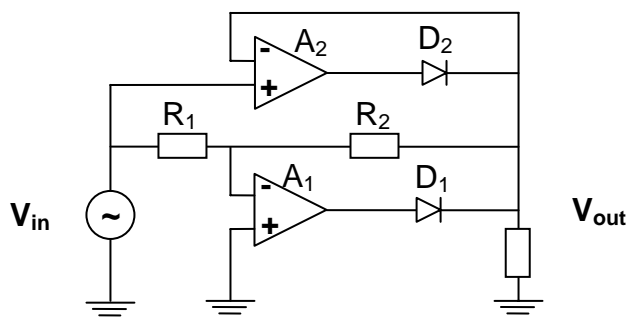


Figura 4.17 Retificador de precisão

O sinal de saída deste circuito é então aplicado à entrada do ADC. Para medição da resistência de isolamento, feito pelo mesmo ADC, um dos retificadores de precisão é desconectado momentaneamente por um relé de medição e a entrada deste ADC recebe o sinal proporcional a corrente de fuga do bobinado em teste.

Na Figura 4.17 o amplificador A_2 opera nos semi-ciclos positivos e o amplificador A_1 é ativado nos semi-ciclos negativos. Nesta configuração a tensão de limiar de condução do diodo passa a ser bem inferior e é dada pela equação 4.2, onde $V_{f'}$ é a nova tensão de limiar de condução e A_{ma} é o ganho em malha aberta do amplificador operacional.

$$V_{f'} = V_f/A_{ma} \quad (4.2)$$

Quando $V_{in} > V_{f'}$, a saída de A_2 força o diodo D_2 a conduzir e assim V_{out} será aproximadamente igual à V_{in} , ver curva de transferência mostrada na Figura 4.18. Com a tensão de entrada aproximadamente igual à de saída, não há fluxo de corrente através de R_1 e R_2 , de forma que na entrada inversora de A_1 aparece uma tensão positiva, polarizando reversamente o diodo D_1 .

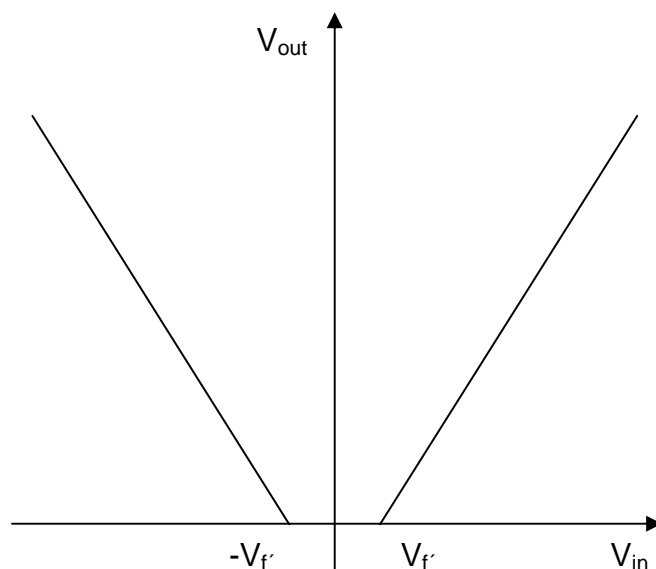


Figura 4.18 Curva de transferência de um diodo de junção

No momento em que $V_{in} < V_{f'}$, o amplificador A_2 entrará em saturação, polarizando reversamente o diodo D_2 . A saída do amplificador A_1 tenderá a ser positiva, levando o diodo D_1 à condução, fechando a malha de

realimentação. O amplificador A_1 neste momento passa a funcionar como um amplificador inversor, e caso os resistores R_1 e R_2 sejam iguais, a tensão de saída será então igual à tensão de entrada com a polaridade invertida ($V_{out} = -V_{in}$).

4.5.3 Medição de Resistência de Isolamento

Como já comentado no item 4.3, este sistema é formado por uma fonte de tensão contínua de $500 V_{cc}$. Para obtenção deste valor de tensão foram utilizados um transformador de relação 110/12 V, alimentando dois outros transformadores 12/220 V, com os enrolamentos de 12 V em paralelo e os de 220 V em série. A retificação foi feita por um diodo com tensão reversa de 700 V e dois capacitores de $330 \mu F/300 V$ ligados em paralelo para reduzir a ondulação (*ripple*). A corrente de fuga se mede pela queda de tensão provocada por esta corrente sobre um resistor em série com a saída da fonte de $500 V_{cc}$, como pode ser verificado no esquema do Apêndice B.

4.5.4 Interface de Relés

Uma interface de relés foi desenvolvida para permitir as comutações entre os terminais do motor durante a medição de impedância e a aplicação de alta tensão do teste de isolamento. Além destas funções, esta interface assegura o intertravamento com o circuito de alimentação do motor, como mostrado no Apêndice B. O acionamento dos relés é feito pela interface de aquisição de dados sob comando do PC e será detalhado no item 4.6. Foram utilizados acopladores ópticos do tipo 4N25 e transistores, para garantir isolamento galvânico entre o circuito de força e o sistema de controle.

4.5.5 Demarrador Tipo Industrial

Para criar um ambiente mais semelhante ao industrial, foi montado um painel de comando e proteção de motor, com fusíveis, contator e relé de proteção. O circuito de comando gera o sinal de *status* para o sistema de aquisição de dados e faz intertravamento com a interface de relés, evitando que estes dispositivos operem simultaneamente. O diagrama de intertravamento está detalhado no Apêndice B.

4.6 Software Desenvolvido

O programa de controle da interface e comando do sistema de teste desenvolvido foi escrito em linguagem de programação *Visual Basic*®. Este sistema pode ser executado no sistema operacional *Windows*®, versões XP, 2000 e 98. Este programa permite o controle das funções do sistema de aquisição de dados, proporciona uma interface amigável com o usuário e serve de ferramenta básica para a análise dos dados dos motores em teste.

O programa foi dividido em dois blocos, sendo um relativo à aquisição de dados, Figura 4.19, e o outro que trata da análise dos dados adquiridos ao longo do tempo.

4.6.1 Rotinas de Aquisição

As rotinas de aquisição e pré-análise dos dados estão representadas no fluxograma em quatro blocos descritos abaixo que serão descritos nos sub-ítemos subseqüentes:

- Inicialização e verificação de *status*;
- Medição de Resistência de Isolamento;
- Medição de Impedância;
- Gerenciamento de ciclo de medição.

O código completo com todas as rotinas, sub-rotinas, funções, formulários e módulos do VB, é apresentado no Apêndice D.

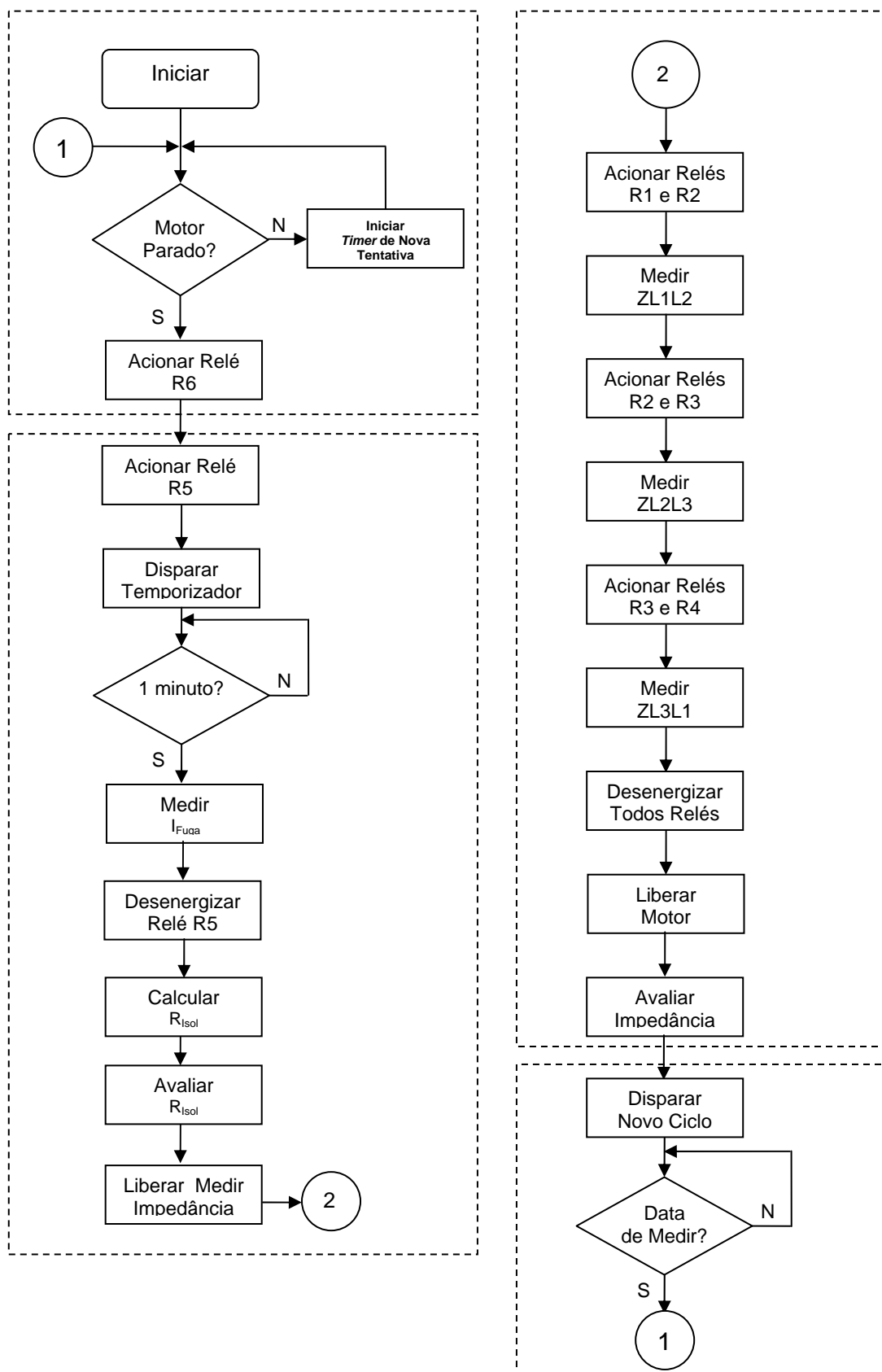


Figura 4.19 Fluxograma das rotinas de aquisição

4.6.1.1 Inicialização e Verificação de *Status*

Na tela inicial do SMSM – Sistema de Monitoramento Automático de Motores, Figura 4.20, deve-se identificar o motor a ser analisado. Para tanto, a caixa de texto “TAG” deve ser preenchida. Ao clicar no botão “Iniciar”, o sistema verificará o *status* do motor, ou seja, se este está parado, neste caso pronto para serem efetuadas as medições, ou está operando, nesta condição o sistema impede a realização desta operação. A verificação de *status* é feita através da leitura da porta paralela e obtenção de um *bit* na posição 8, que é ativado por meio de um contato NF do contator de acionamento do motor e resistor de *pull up* mostrado na Figura 4.21.

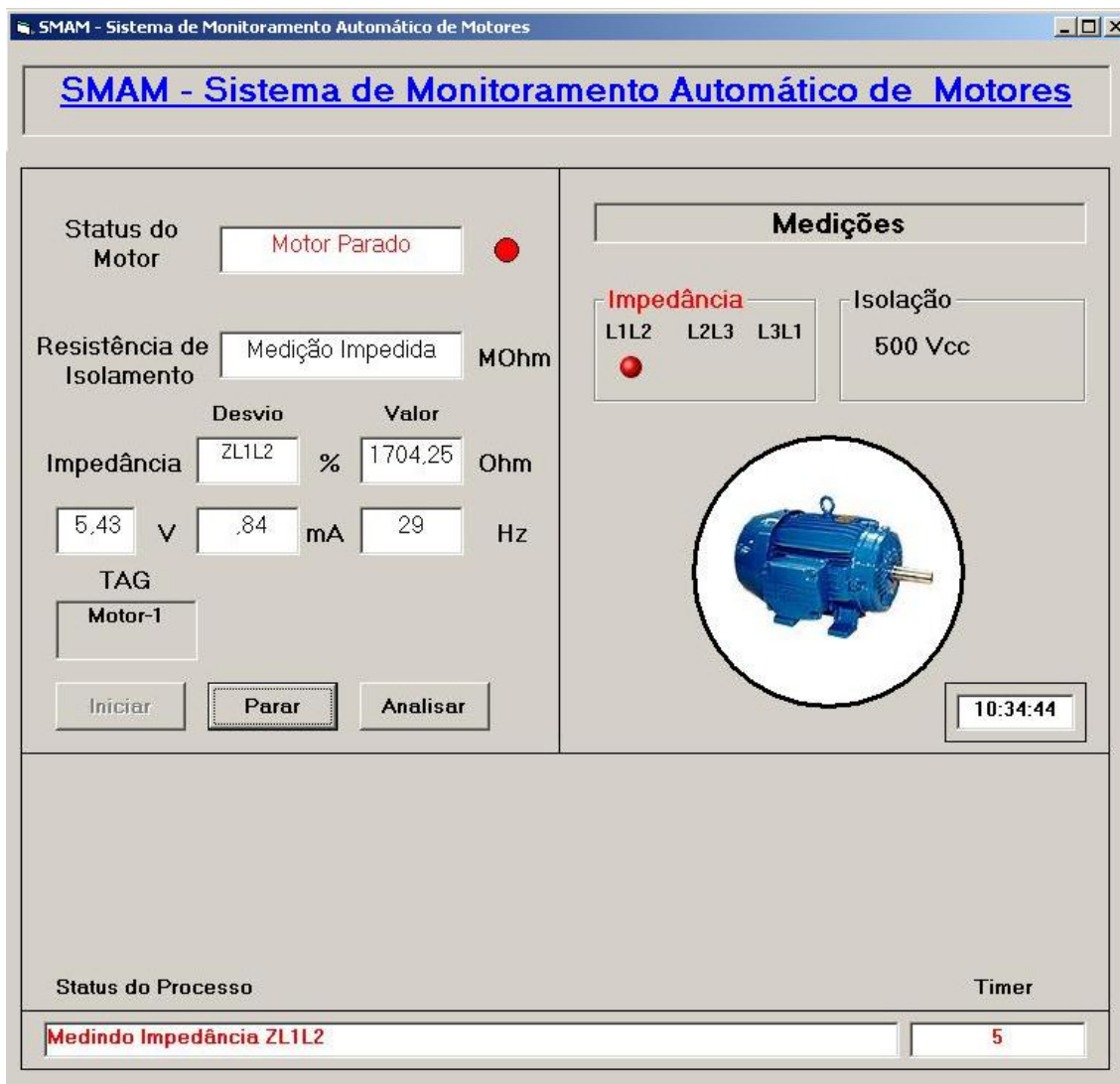


Figura 4.20 Tela Inicial do SMAM

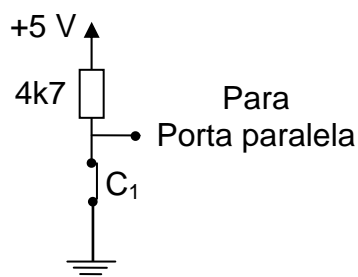


Figura 4.21 Resistor de *pull up*

Uma vez que o motor está liberado, o programa manda um comando via porta paralela para a interface de relé e energiza o relé de intertravamento **R₆**, que impede, através de um contato NF em série com a bobina do contator a entrada do motor. Este relé ficará energizado tanto durante todo o processo de medição de resistência isolamento como de impedância.

Caso o motor esteja em operação, o sistema reconhece o *bit* em nível alto e aciona um temporizador que contará um tempo de 15 minutos para fazer uma nova tentativa de medição e este ciclo se repetirá até que o motor esteja disponível.

Durante todo este bloco, mensagens e sinalizações com ícones são colocadas na tela principal mostrando o andamento das atividades que estão sendo executadas.

4.6.1.2 Medição de Resistência de Isolamento

O processo de medição da resistência de isolamento é iniciado com o relé de intertravamento liberando a alimentação de $24 V_{cc}$ para o restante do circuito da interface do relé, seguido do acionamento, por *software*, do relé **R₅**. Como garantia de que os relés de medição de impedância (**R₁** à **R₄**) não sejam energizados durante esta etapa, foram introduzidos intertravamentos entre estes relés e o relé **R₅**, conforme circuito completo do Apêndice B.

Dois contatos NA do relé **R₅**, são responsáveis respectivamente pela alimentação de $110 V_{ca}$ do arranjo de transformadores da fonte de alta tensão e da aplicação de $500 V_{cc}$ entre os bobinados do motor e a carcaça aterrada. Um temporizador, com tempo de atuação de um minuto, é disparado mantendo o motor sob tensão por este período. Ao final deste intervalo é feita a conversão

analógica digital da corrente de fuga entre um dado bobinado e a carcaça. Após a medição da corrente de fuga o relé R_5 é liberado e assim pode ser iniciada a medição de impedância.

O sistema gera um arquivo em formato texto com os valores medidos, separados por ponto e vírgula, que podem ser recuperado posteriormente através do próprio sistema ou por outro *software* comercial. Uma avaliação preliminar é feita pelo sistema sobre o valor da resistência de isolamento com base na norma std-43 (2000) e um parecer é apresentado na parte inferior da tela principal.

4.6.1.3 Medição de Impedância

A medição de impedância é iniciada pelo acionamento dos relés R_1 e R_2 e a execução de uma rotina que gera a seqüência de palavras de 16 *bits* para o gerador de senóides. Estas palavras correspondem a quarenta e uma freqüências entre 30 e 1230 Hz com incremento de 30 Hz. Os dois ADC's são ativados e os valores de tensão e corrente são coletados pela interface. Posteriormente, são calculadas as impedâncias correspondentes as bobina L_1L_2 para cada freqüência gerada. Após os dados serem enviados para o PC, o relé R_1 é liberado e relé R_3 energizado, sendo mantido também nesta condição o relé R_2 e as medições relativas ao bobinado L_2L_3 são executadas como descrito anteriormente. Na seqüência, o relé R_2 é desativado e o R_4 ativado, mantendo-se o relé R_3 operando. Finalmente, as medições das impedâncias do bobinado L_3L_1 são realizadas e em seguida os relés são desabilitados, inclusive o R_6 , liberando o motor para operar se solicitado.

O sistema calcula os desvios de impedância, que correspondem ao valor do quociente expresso em percentual, da diferença entre o valor máximo e mínimo pela média das impedâncias para uma mesma freqüência, dada pela equação 4.4, onde $D_{\%}(f)$ é o desvio percentual, $Z_{\max}(f)$ é a impedância máxima, $Z_{\min}(f)$ é a impedância mínima e $Z_{\text{med}}(f)$ é a impedância média. Posteriormente, faz-se uma avaliação prévia destes desvios comparando-os com um valor máximo admitido.

$$D_{\%}(f) = 100 \times [Z_{\max}(f) - Z_{\min}(f)] / Z_{\text{med}}(f) \quad (4.4)$$

4.6.1.4 Gerenciamento de Ciclo de Medição

O sistema foi desenvolvido para trabalhar de forma automática. Então, para um mesmo motor, a cada intervalo de tempo estabelecido, por exemplo, 30 dias, uma outra intervenção completa de monitoramento pode ser realizada. Desta forma, após a última medição a data da nova intervenção é calculada e um relógio de tempo real é acionado. Quando o prazo é vencido o sistema automaticamente inicia a verificação do *status* do motor e todo o processo de teste se repete.

Os dados lidos em cada data são armazenados de forma a serem recuperados e analisados posteriormente.

4.6.2 Módulo de Análise

No módulo de análise os dados coletados podem ser divididos em duas partes para melhor entendimento. Uma responsável pela avaliação da Resistência de Isolamento e outra para analisar a Impedância.

4.6.2.1 Avaliação da Resistência de Isolamento

Na tela do *software*, Figura 4.22, tem-se três botões de comandos cujas funções serão detalhadas a seguir.

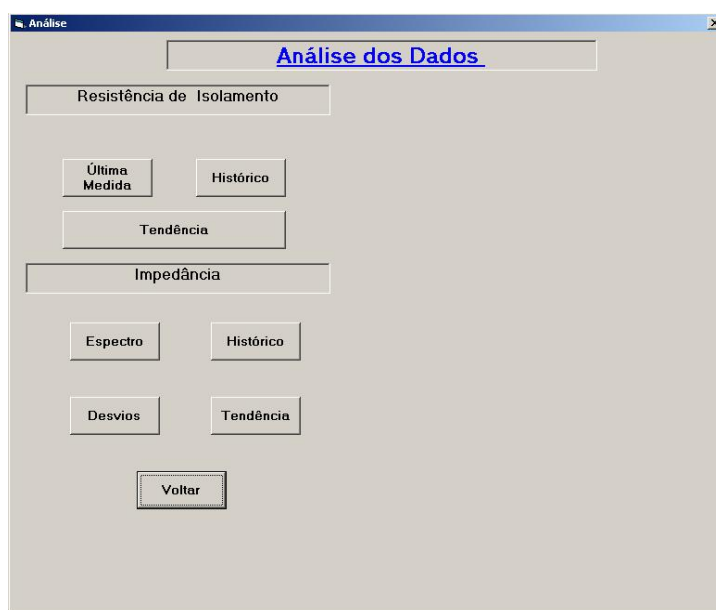


Figura 4.22 Botões de comando do módulo de análise

O botão de comando <Última Medida> serve para abrir uma caixa de acesso aos diretórios, conforme mostrado na Figura 4.23. Esta função permite a escolha de um dado arquivo mais antigo, concernente a um equipamento que se deseja analisar. A resposta deste botão de comando, são três diferentes mensagens ou *labels* (janelas onde o sistema escreve um TAG de identificação do motor). A data da medição e o valor da resistência de isolamento em $M\Omega$ também aparecem, como mostrado na Figura 4.24.



Figura 4.23 Caixa de diretório

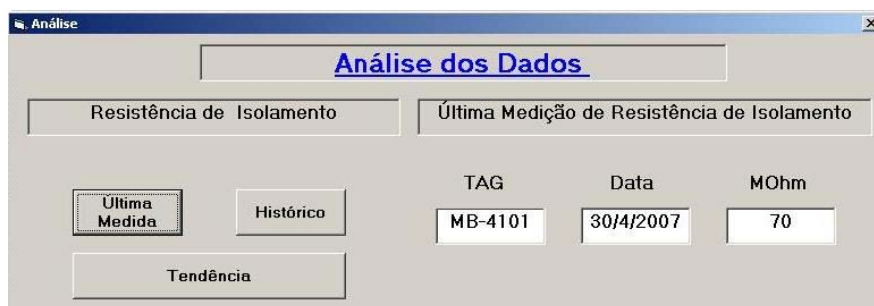


Figura 4.24 Retorno ao botão de comando <Última Medida>

De forma semelhante, ao se clicar no botão de comando <Histórico> uma caixa de diretório é mostrada, permitindo abrir um arquivo para a verificação da série histórica dos valores de resistência de isolamento medidos para um determinado motor, sob a forma de um gráfico de barras, Figura 4.25.



Figura 4.25 Gráfico de barras de RI

Finalmente, o botão de comando <Tendência> também oferece a opção de arquivos de dados de equipamentos para análise. Faz ainda, uma estimativa da data prevista para que o valor da resistência de isolamento seja o mínimo aceitável para que um motor de baixa tensão opere de forma segura. A determinação da data futura foi feita por extrapolação, baseada no Método dos Mínimos Quadrados, onde os intervalos de tempo entre as medições foram tomados como abscissa e os valores de resistência de isolamento como ordenada. Uma vez definida a equação que ajusta estes pontos, o sistema calcula o tempo para o valor de $5\text{ M}\Omega$. Valor este é adotado como valor mínimo de acordo com a norma std-43 (2000). O tempo calculado é então somado a data da última medição e assim se estima a data limite de operação, se as condições de funcionamento ou repouso forem mantidas, Figura 4.26.

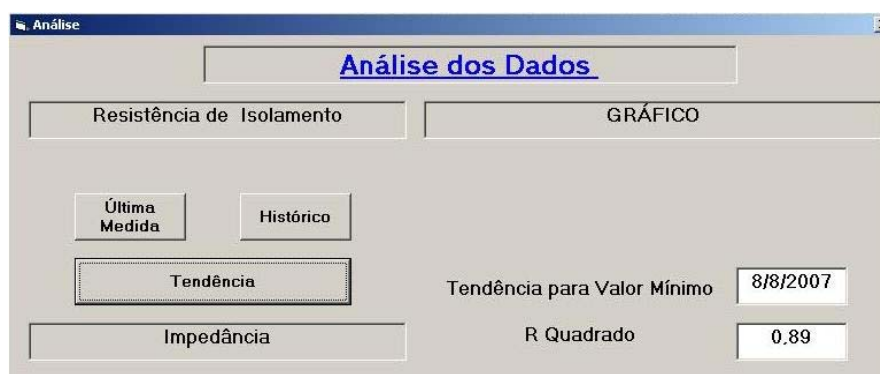


Figura 4.26 Tendência para valor mínimo

4.6.2.2 Avaliação da Impedância

Na parte inferior da tela do *software* mostrada na Figura 4.22 encontram-se quatro botões de comando que têm funções que serão descritas a seguir.

Ao acionar o botão de comando <Espectro>, uma caixa de diretório é aberta e então arquivos de dados previamente adquiridos são apresentados para eventual escolha. Um gráfico tipo de linha com três curvas, representando os valores de impedância dos bobinados para a faixa de frequência de 60 à 1200 Hz, é mostrado como ilustrado na Figura 4.27. Clicando-se sobre este gráfico uma nova tela é mostrada com a ampliação dos espectros de impedância, para que seja possível uma melhor análise das informações contidas nestes espectros, Figura 4.28.

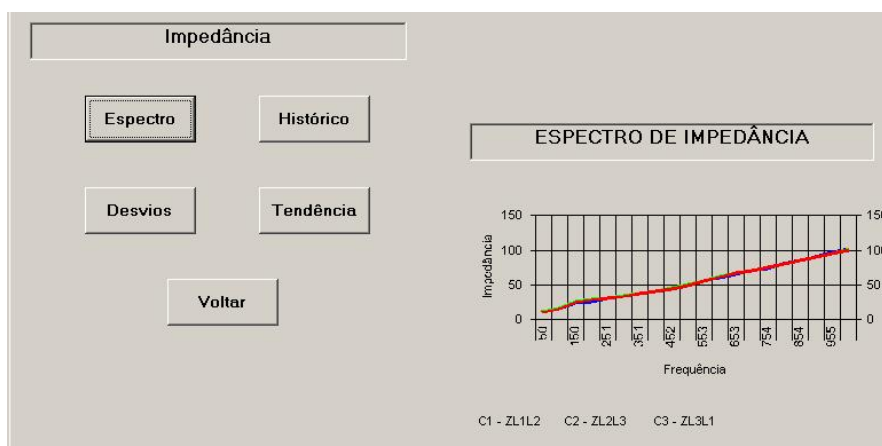


Figura 4.27 Espectro de impedância

Um gráfico de barra representa o histórico dos desvios das impedâncias, para a frequência nominal do motor, no caso 60 Hz. Este gráfico é mostrado quando o botão de comando <Histórico> é acionado, conforme pode ser visto na Figura 4.29.

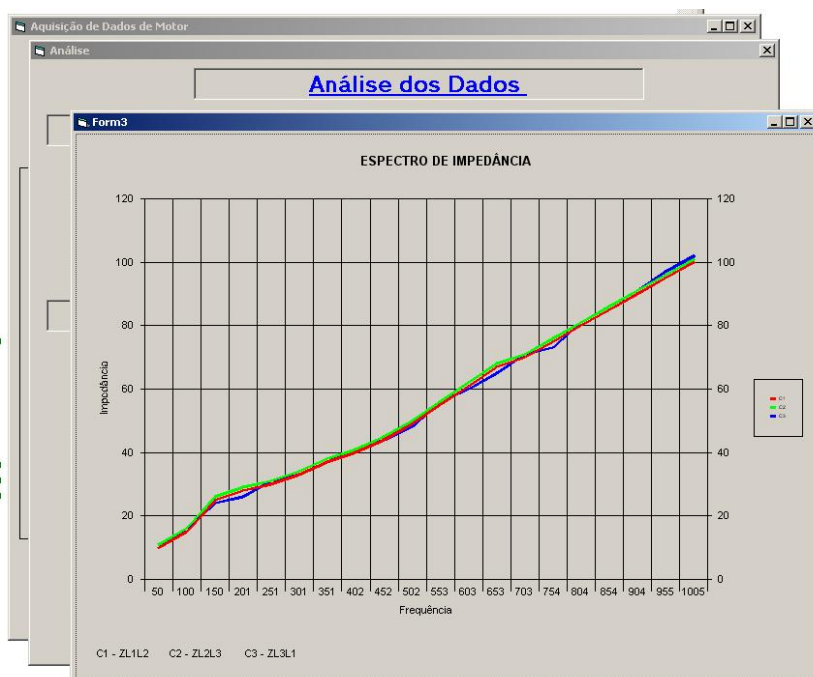


Figura 4.28 Gráfico ampliado de espectro de impedância

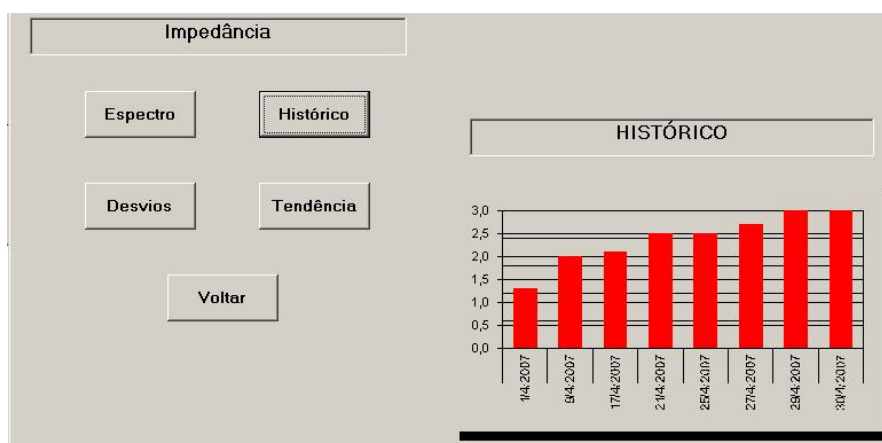


Figura 4.29 Histórico de desvio de impedância

O botão de comando <Desvios> traz o TAG do motor que está sendo analisado, a data da medição e o desvio relativo (percentual) da impedância das medidas realizadas entre os bobinados das fases, na frequência de 60 Hz, como apresentado na Figura 4.30.

TAG	Data	Desvio (%)
MB-4101	290507	1.59

Figura 4.30 Desvio de impedância

Como descrito para resistência de isolamento, o botão de comando <Tendência> estima a data na qual o valor do desvio relativo atingirá 5%, que é o valor máximo admitido nas boas praticas de manutenção de motores, como pode ser visto na Figura 4.31.

TAG	Data	Desvio (%)	Tendência	Valor Máximo	R Quadrado
MB-4101	290507	1.59	6/7/2007		0.94

Figura 4.31 Tendência de desvio de impedância

4.7 Integração *Hardware* e *Software*

Vários testes, no código escrito em VB, foram realizados com simulações de *bits* de *status* e comando para verificação da coerência das operações executadas com as rotinas previamente elaboradas. De forma similar, o *hardware* desenvolvido foi testado pela aplicação de *bits* de comunicação entre a interface de aquisição de dados e o PC e vice-versa, de forma a comandar os relés dos circuitos de medição de impedância e resistência de isolamento e ainda os intertravamentos com o acionador do motor.

Uma vez testadas, separadamente, as funcionalidades do código e do circuito eletrônico, as partes foram integradas e testadas em conjunto. Para tanto foram criadas linhas de código provisórias a fim de possibilitar a

visualização, *bit a bit*, dos valores e dos LEDs pilotos em tempo real. Optou-se por avaliar cada bloco funcional do código e do *hardware*, de forma seqüencial e gradativa, mostrada na seqüência a seguir.

- *Status* do motor;
- Acionamento do relé de intertravamento;
- Acionamento do relé de medição de resistência de isolamento;
- Disparar temporizador de aplicação de tensão;
- Adquirir e salvar os dados de resistência de isolamento;
- Calcular e avaliar resistência de isolamento;
- Liberar relé de medição de resistência de isolamento;
- Disparar temporizador de descarregamento do motor;
- Acionar relés de medição de impedância (na seqüência R_1-R_2 , R_2-R_3 e R_3-R_4);
- Adquirir e salvar os dados de cada medição de impedância;
- Calcular e avaliar os valores de impedância e desvio;
- Desenergizar relés e liberar o motor;
- Acionar a rotina de verificação de novo ciclo de medição.

Durante esta etapa todo o sistema foi testado e alguns ajustes, tanto de *software*, inclusão de alguns temporizadores para fixação dos *bits*, quanto de *hardware*, adição de capacitores de filtro e equalização dos terras, foram feitos para garantir a estabilidade de funcionamento do sistema. O conjunto foi colocado em funcionamento por várias horas e se mostrou estável durante todo o tempo de teste.

4.7.1 Calibração do Sistema

A calibração do sistema de medição de resistência de isolamento foi feita conectando-se a saída da fonte de 500 V_{cc} resistores de valores conhecidos entre 1 e 110 M Ω . Durante este teste foram coletados os valores de contagens do ADC para cada resistor introduzido no circuito. Com os dados coletados e através do MSExcel®, foi ajustada a melhor curva para estes pontos. A equação encontrada teve uma correlação de $R^2 = 0,9998$.

A resistência de isolamento (R_{isol}) é calculada pela equação 4.5, onde C_{ADC} é o número de contagens do ADC.

$$R_{\text{isol}} = 3.202 \cdot C_{\text{ADC}}^{-1,0658} \quad (4.5)$$

Para uma só contagem do ADC ($C_{\text{ADC}} = 1$) a resistência de isolamento vale 3202 M Ω . Isto significa o fundo de escala da medição. Portanto, foi criada uma rotina no código, que mostrará na interface de usuário, o valor da resistência de isolamento dito “Infinito”, como é usual nos megômetros comerciais.

A tabela com os dados de calibração, como também o gráfico e a curva ajustada se encontram no Apêndice E.

A medição de impedância foi calibrada aplicando vários sinais de tensão à frequência de 200 Hz, em cada canal de aquisição de dados, ou seja, ADC-1 e ADC-2. Nesta operação usou-se as entradas auxiliares da interface de aquisição de dados. A fonte de tensão e frequência ajustáveis utilizada foi a Minipa MFG-4201 *Sweep Function Generator* e o voltímetro digital para medição do sinal aplicado o Minipa MDM-8146 *True RMS Digital Multimeter*. Os valores de tensão e os valores das contagens coletadas correspondem à tensão e corrente necessárias para a determinação da impedância. Estes dados também foram tratados no MSExcel® e ajustadas curvas, com excelentes coeficientes de correlação R^2 (também conhecidos como Coeficiente de Determinação). O valor de tensão aplicada (V_v) é calculado pela equação 4.6, onde $C_{\text{ADC-1}}$ é o número de contagens do ADC-1, enquanto que a queda de tensão relativa a corrente (V_i) pode ser determinada pela equação 4.7 e $C_{\text{ADC-2}}$ é o número de contagens do ADC-2. Os coeficientes de correlação para as duas equações ajustadas são respectivamente 0,9988 e 1. Todos os dados e curvas ajustadas se encontram no Apêndice E.

$$V_v = 0,0162 \cdot C_{\text{ADC-1}} - 1,4596 \quad (4.6)$$

$$V_i = 0,00174 \cdot C_{\text{ADC-2}} - 0,0106 \quad (4.7)$$

Observou-se que os dez primeiros valores de V_v , ou seja, os valores medidos de tensão aplicados ao bobinado do motor com frequências mais baixas, se apresentaram inferiores a média das outras trinta e uma medidas,

Figura 4.32. Para evitar este fenômeno, duas alternativas podem ser usadas. Uma agindo sobre o *hardware*, com a adição de capacitores no circuito de condicionamento de sinal e a outra por meio do software, corrigindo os dez primeiros valores de V_v para a média dos restantes. Contudo este comportamento se repetiu em todas as medições e não representa erro significativo, pois também ocorreu na aquisição dos valores de corrente e assim se compensam, quando da determinação da impedância (V/I), ou seja, uma correção desses dados é desnecessária.

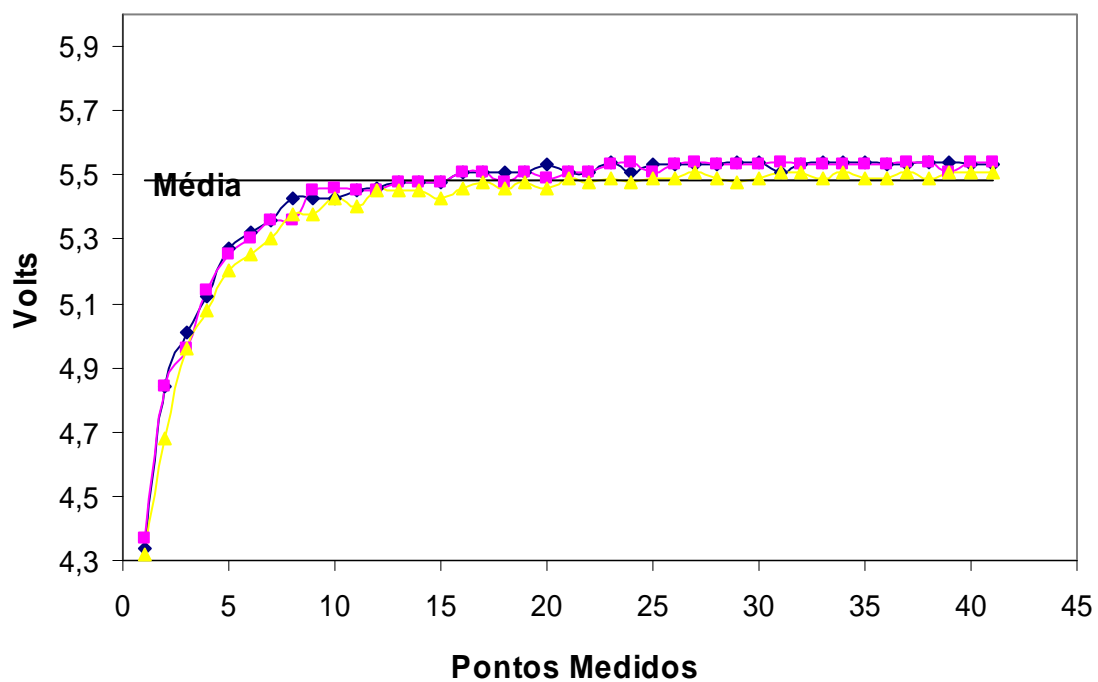


Figura 4.32 Variação da tensão medida

Capítulo 5 Análise dos Resultados

Neste capítulo apresenta-se a análise dos dados coletados de resistência de isolamento e impedâncias dos motores, em condições normais e submetidos a defeitos forçados, tanto com instrumentos comerciais de bancada, quanto com o sistema desenvolvido.

5.1 Medição de Resistência de Isolamento

As resistências de isolamento dos motores foram medidas nas condições atmosféricas, no laboratório onde a temperatura é mantida em aproximadamente 22° C por um sistema de ar condicionado. Na Tabela 5.1, tem-se os valores de resistência de isolamento dos motores medidos com megôhmetro e com o sistema de aquisição de dados, sem introdução de defeitos nos bobinados dos motores.

Tabela 5.1 Dados de resistência de isolamento

Motor	Megôhmetro ¹ (MΩ)	Sistema de Aquisição de dados (MΩ)	Observações
Motor-1	> 1000	3202	Fundo de escala de ambos
Motor-2	300	689 ²	² Valor Médio
Motor-3	> 1000	3202	Fundo de escala de ambos
¹ Insulation Tester Yokogawa modelo 3213A (500 Vcc)			

Foram realizadas trinta e oito medidas com o sistema de aquisição de dados em cada motor. O motor-1 e motor-3 não apresentaram nenhuma variação nas medições de resistência de isolamento. Os valores obtidos para o motor-2 se mantiveram entre 576 e 730 MΩ, sendo que vinte e oito destes valores foram de 730 MΩ, o que resultou num valor médio igual a 689 MΩ. É importante lembrar que este motor foi mantido por muito tempo com a caixa de ligação aberta, para que o acesso aos bobinados ficasse livre. Por este mesmo acesso, deve ter penetrado umidade, poeira e/ou outros agentes externos, o que justificaria a variação da resistência de isolamento e a diferença em relação aos demais motores. A diferença entre a resistência medida com o

megôhmetro e com sistema de aquisição de dados, não é significativa neste caso, pois os valores de maior interesse são os que estão abaixo de $10\text{ M}\Omega$.

Para avaliar a sensibilidade do sistema de aquisição de dados com respeito à medição de resistência de isolamento, o motor-3 foi pulverizado com *spray* de água, através da caixa de ligação. Isto provocou a queda da resistência de isolamento para próximo a $2\text{ M}\Omega$. Em seguida o motor foi girado no espaço, de maneira que sua caixa de ligação ficasse virada para baixo, assim a água pudesse escorrer. Aos poucos houve a recuperação da isolação e o valor lido voltou a ser próximo do inicial, ou seja, $1000\text{ M}\Omega$. Na seqüência, aplicou-se ar comprimido, também pela caixa de ligação, o que provocou maior penetração da água no bobinado, e conseqüente a diminuição da resistência de isolamento. Por fim, o motor foi parcialmente secado pela aplicação de ar quente durante cinco minutos, através da caixa de ligação, com a perfeita recuperação dos valores da resistência de isolamento. As Figuras 5.1 a 5.4, ilustram o que foi relatado acima.

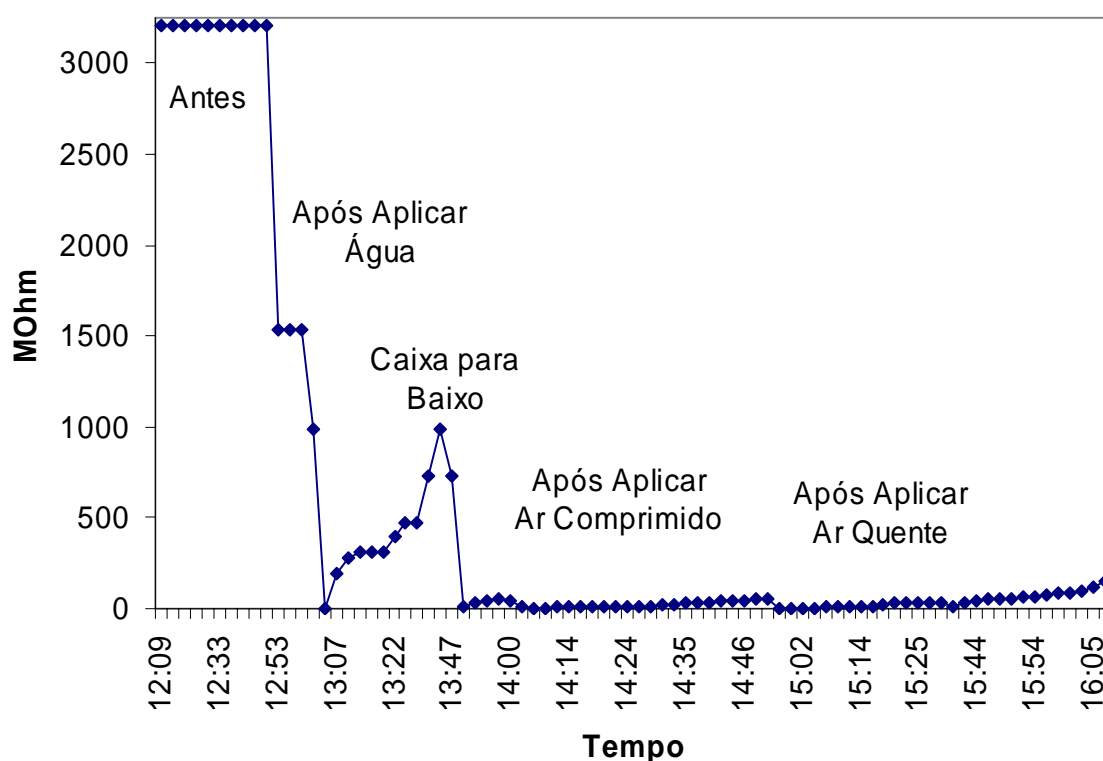


Figura 5.1 Variação da resistência de isolamento

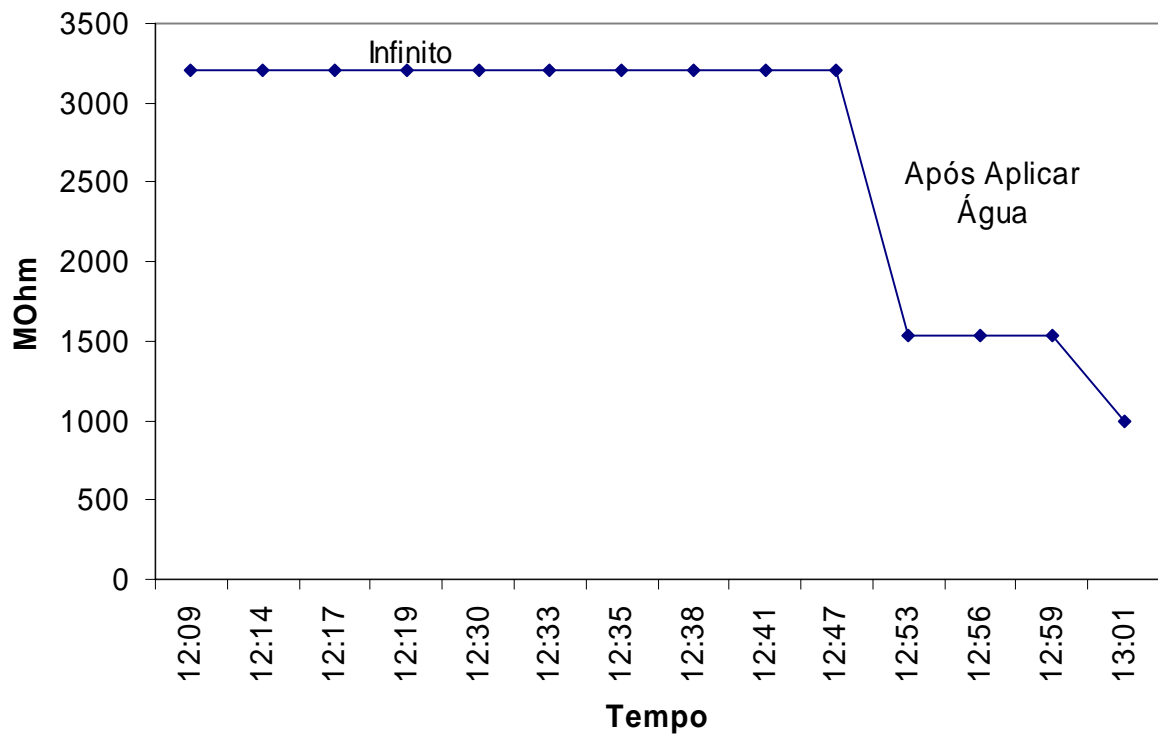


Figura 5.2 Efeito da umidade sobre a resistência de isolamento

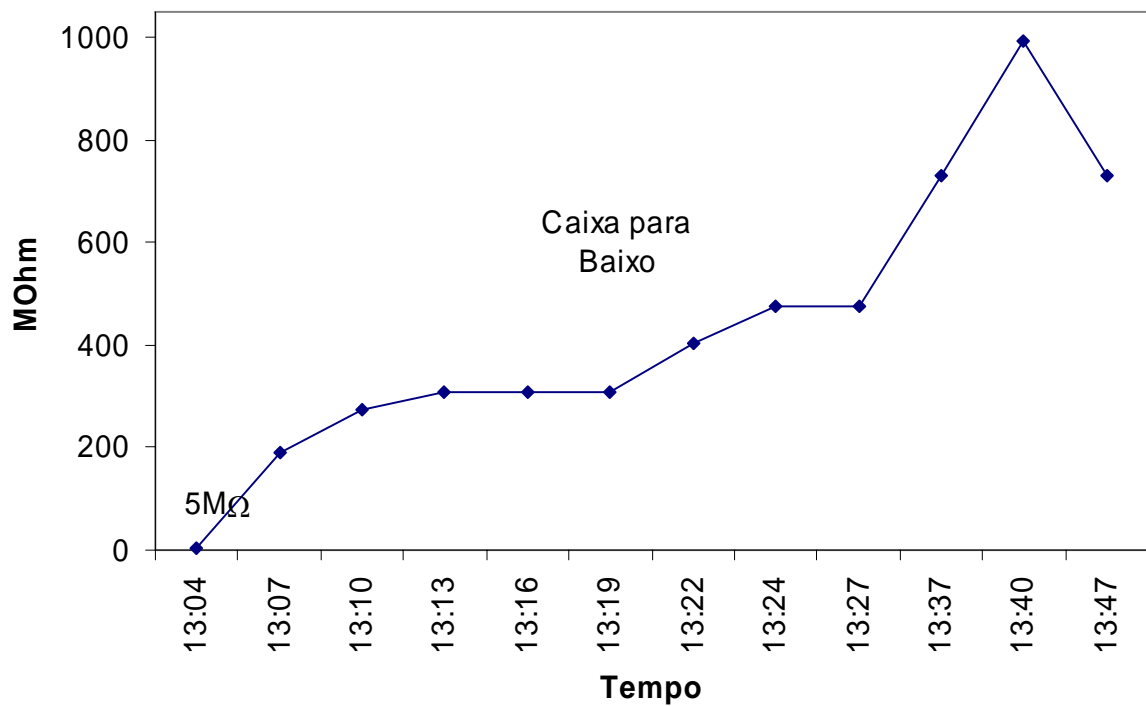


Figura 5.3 Recuperação da resistência de isolamento

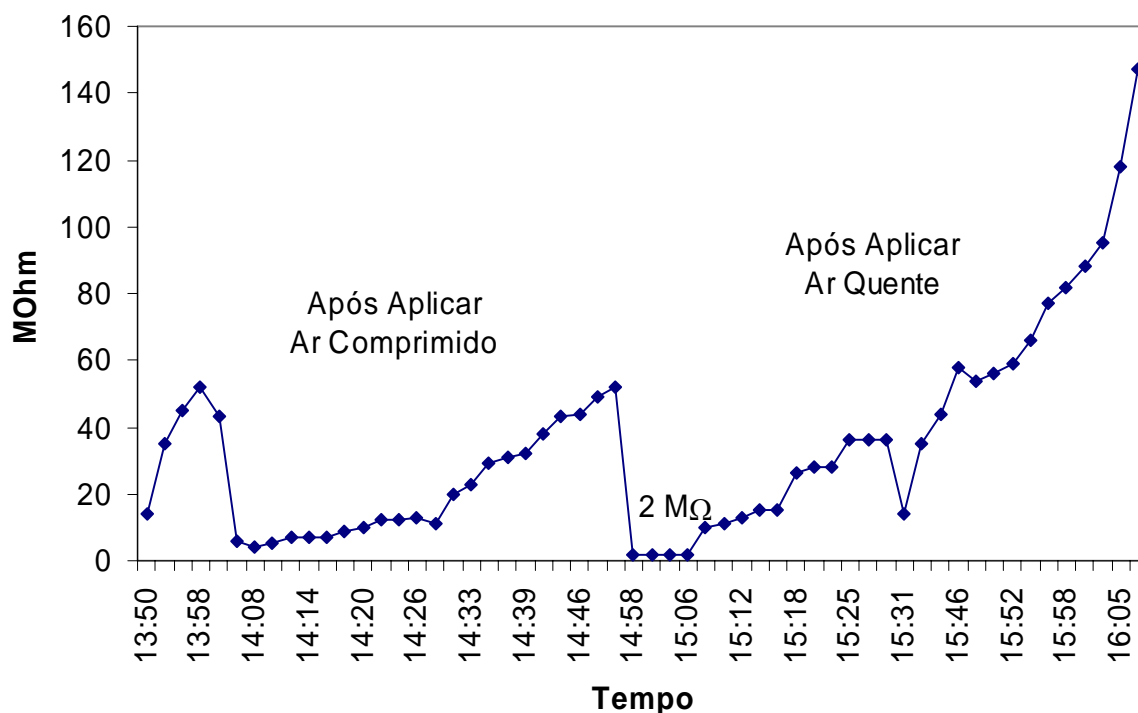


Figura 5.4 Efeito da aplicação de ar comprimido e ar quente

O sistema de aquisição de dados acompanhou as variações da isolamento do motor em função das condições impostas aos seus bobinados, sendo capaz de medir valores entre 2 e 3202 M Ω .

5.2 Medição de Impedância

5.2.1 Aspectos Gerais

A impedância dos bobinados dos motores foi medida tanto com os instrumentos de bancada, quanto com o sistema de aquisição desenvolvido no projeto. O motor-1 e o motor-2, que têm as extremidades dos condutores dos bobinados acessíveis, foram testados em conexão delta e estrela e o motor-3 apenas em estrela, pois já tinha esta conexão feita pela fábrica. O motor-2, conforme já descrito no Capítulo 4, teve sua impedância avaliada também sob a condição de defeitos impostos, ou seja, diferentes curtos-circuitos entre espiras.

Na bancada de testes, para o motor-2, apenas um conjunto de medições foi realizado para cada condição, ou seja, motor sem defeito e o motor com cinco níveis de defeitos. Já o motor-1 foi ensaiado apenas na

condição sem defeito, enquanto o motor-3 não foi testado na bancada de testes.

Os testes realizados com o sistema de aquisição de dados seguiram a seqüência mostrada na Tabela 5.2. Os dados obtidos nestes testes se encontram no Apêndice F.

Tabela 5.2 Seqüência de Testes de Impedância

Motor	Ligação	Condição	Nº de Testes	Nº de Medidas
1	Delta	Sem defeito	13	1.599
	Estrela		13	1.599
2	Delta	Sem defeito	13	1.599
	Estrela		13	1.599
	Delta	Com defeito 1	6	738
		Com defeito 2	6	738
		Com defeito 3	6	738
		Com defeito 4	5	615
		Com defeito 5	3	369
Com defeito 6	3	369		
3	Estrela	Sem defeito	13	1.599

Em cada item da seqüência acima, foram realizadas baterias de testes combinando as três fases (L_1L_2 , L_2L_3 e L_3L_1) com as freqüências do sinal de excitação dos bobinados variando entre 30 e 1230 Hz com incremento de 30 Hz.

5.2.2 Análise dos Dados Experimentais

Nos itens seguintes, faz-se uma análise dos coletados tanto nos testes com instrumentos de laboratório, como também com o sistema de aquisição de dados desenvolvido.

5.2.2.1 Comparação Entre os Valores Medidos em Bancada e com a Interface Desenvolvida

Na Figura 5.5, tem-se os valores de impedância do motor-2 medidos com o mesmo conectado em delta e em condições normais. As retas sobrepostas na parte superior do gráfico são relativas às medidas feitas com instrumentos de bancada (**ZL12-B**, **ZL23-B** e **ZL31-B**), enquanto que as retas mais abaixo são resultado das medições com o sistema de aquisição de dados

(ZL12-SM, ZL23- SM e ZL31-SM). Pode-se observar que, apesar dos valores medidos na bancada de teste serem mais homogêneos e estarem superiores aos adquiridos pela interface, esta respondeu satisfatoriamente para o objetivo pretendido por este projeto. A dispersão de valores é mais acentuada para frequências superiores a 800 Hz e não representa prejuízo para as análises de falha dos motores, como será detalhado mais à frente.

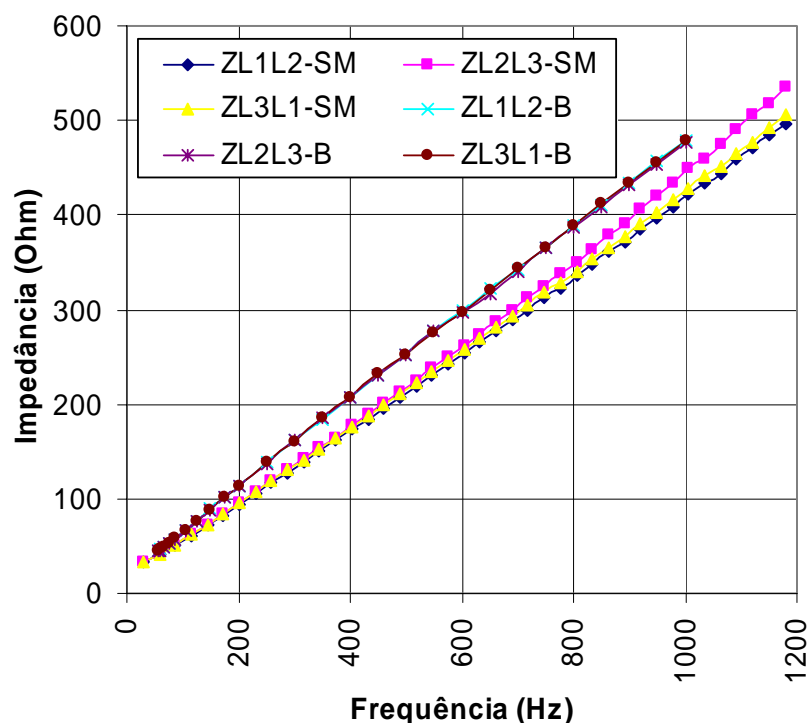


Figura 5.5 Motor-2 em delta sem defeito em bancada e com o sistema de monitoramento

De forma semelhante, na Figura 5.6, tem-se os resultados obtidos para o motor-1. Nesta situação, verifica-se uma maior dispersão entre os dois conjuntos de curvas influenciada, principalmente, pela diferença de quantidade de pontos amostrados. Isto não é determinante na análise de motores, visto que a assinatura de impedância, como resposta à variação de frequência, é mais importante do que os valores absolutos medidos.

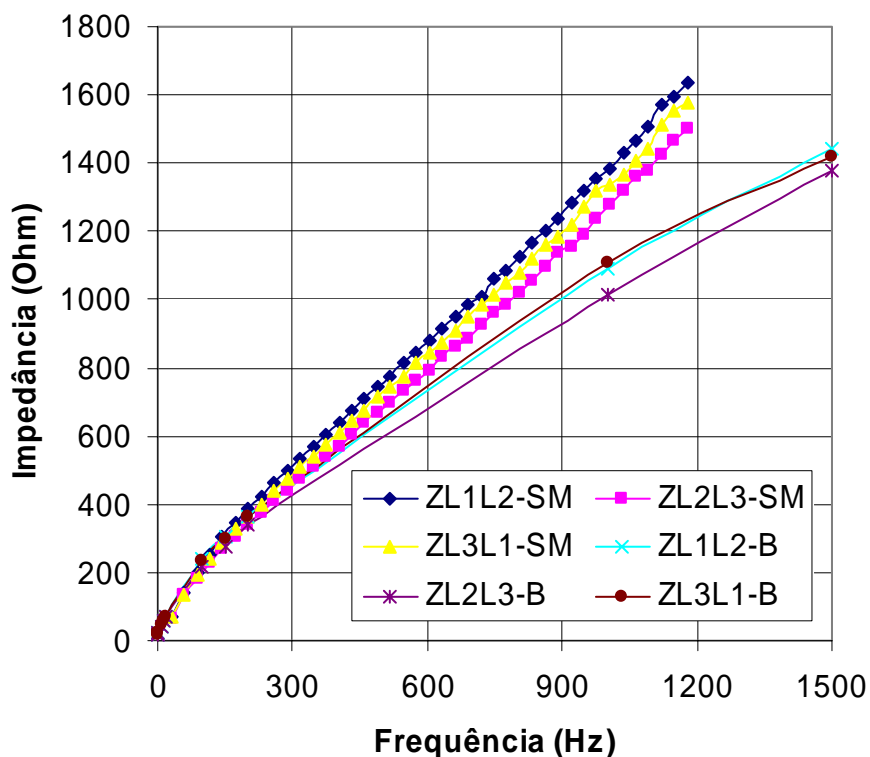


Figura 5.6 Motor-1 em delta sem defeito em bancada e com o sistema de monitoramento

Para o motor-2 com defeito, foram realizados os levantamentos de impedância, tanto em bancada, quanto usando a interface de aquisição de dados. Estes resultados estão representados no gráfico da Figura 5.7. As diferenças entre as medições feitas pelos dois processos se mantêm, mas os ângulos β e σ entre as retas de **ZL₁L₂-SM** (azul) e **ZL₃L₁-SM** (amarela) e **ZL₁L₂-B** (vinho) e **ZL₃L₁-B** (magenta) são os mesmos, demonstrando que a interface responde de forma consistente.

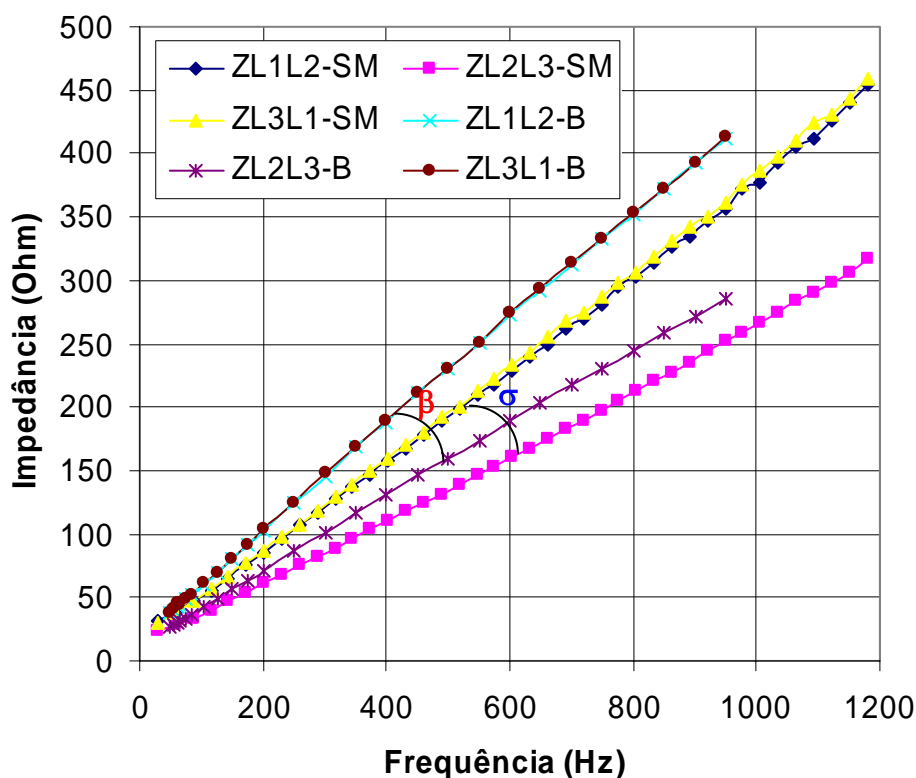


Figura 5.7 Motor-2 em delta com defeito em bancada e com o sistema de monitoramento

5.2.2.2 Repetitividade das Medições

Os parâmetros estatísticos dos três conjuntos de 13 medidas de impedância do motor-1, entre as fases, a 60 Hz, são apresentados na Tabela 5.3. Estes valores se mostraram com um baixo grau de dispersão e desvios padrão entre 2,07 e 3,1 Ω . Este comportamento é verificado nas séries de valores de impedância de cada fase e suas respectivas médias, conforme mostrado na Figura 5.8.

Tabela 5.3 Estatística das medidas de impedância do motor-1

Impedância	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
ZL1L2	139,64	139,98	143,15	130,96	3,10
ZL2L3	132,92	131,88	136,38	131,09	2,07
ZL3L1	136,15	136,97	138,79	131,88	2,28

Todos os valores em Ω .

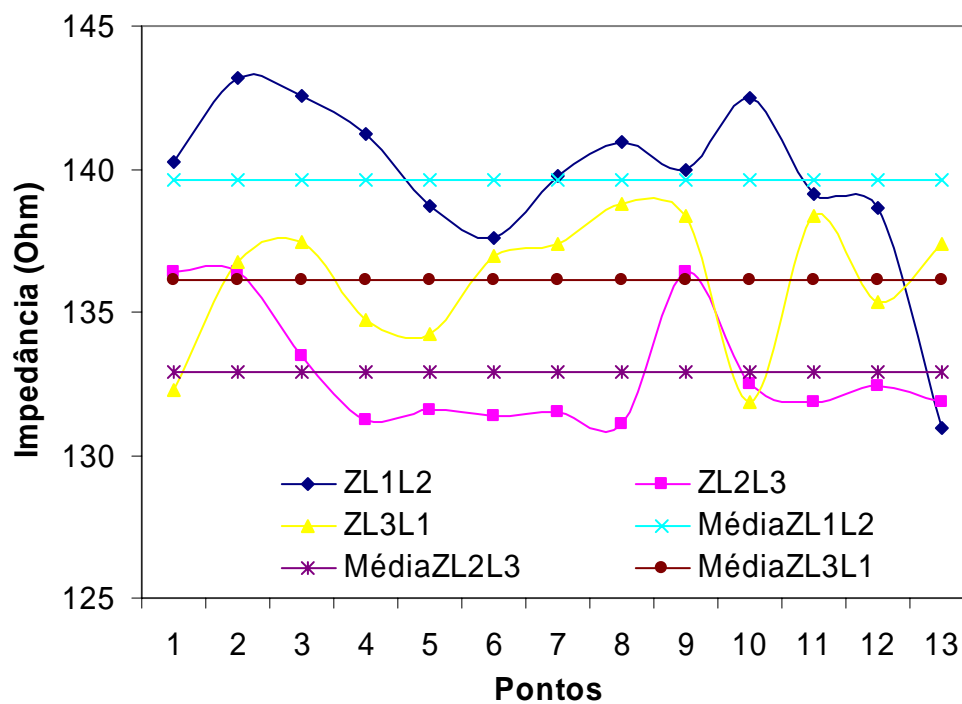


Figura 5.8 Variação da impedância do motor-1 em relação a média

Nas Figuras 5.9 e 5.10, tem-se os valores obtidos para as medições das três fases e para uma única fase. Os dados obtidos são bastante homogêneos.

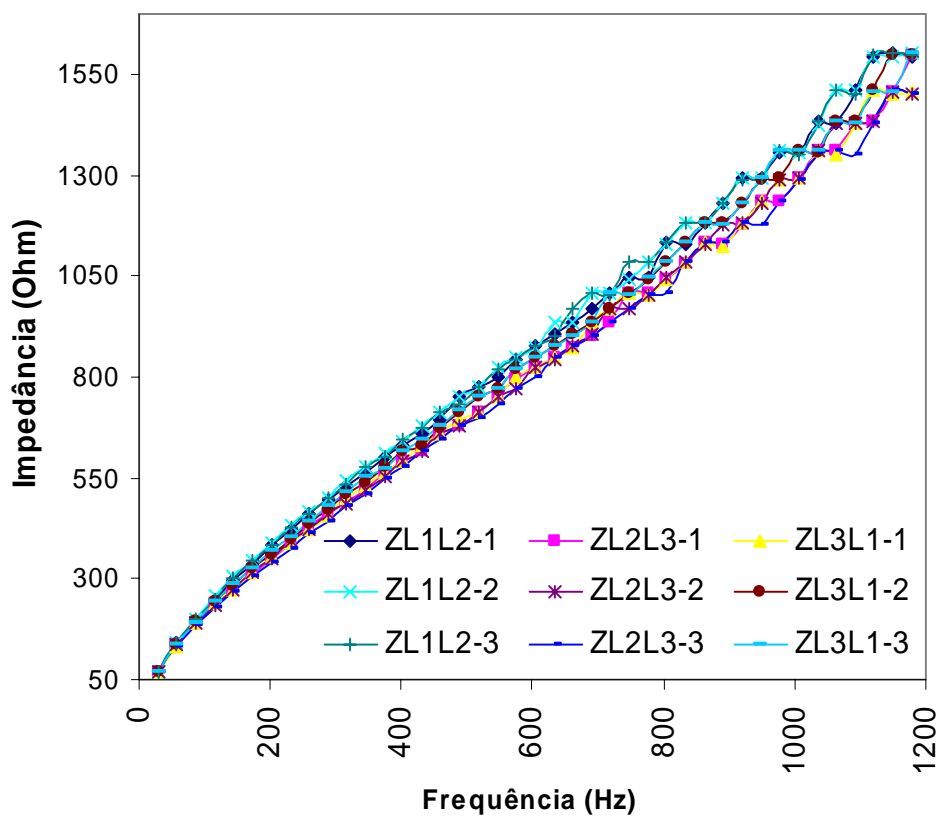


Figura 5.9 Impedância das três fases do motor-1

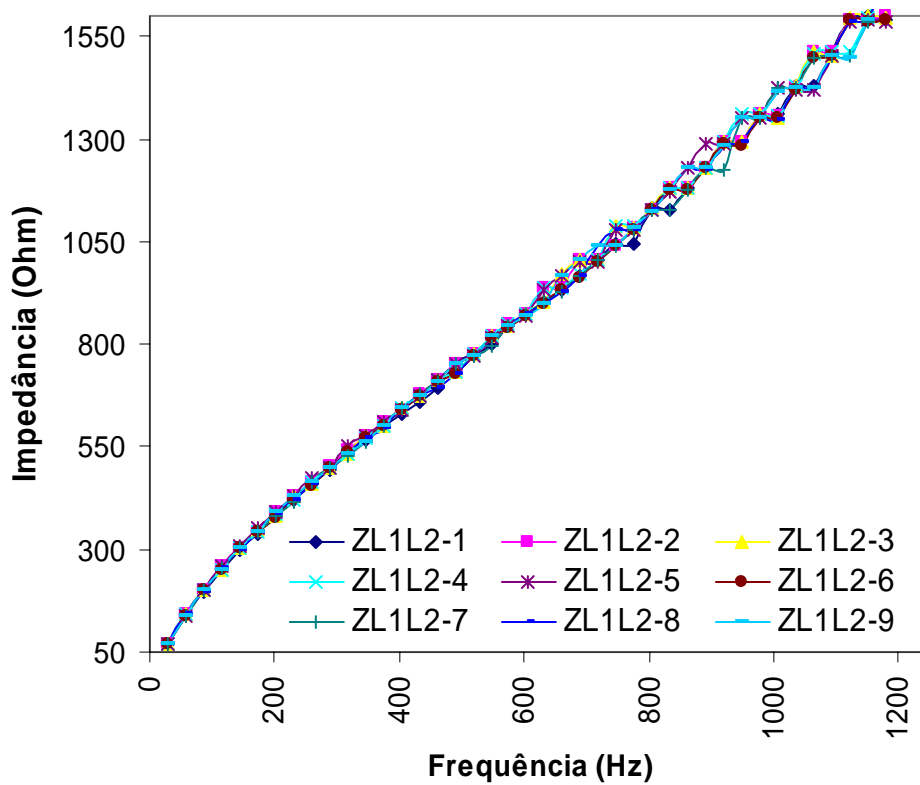


Figura 5.10 Impedância de uma fase do motor-1

Na Figura 5.11, tem-se três conjuntos de 13 medidas de impedância do motor-2, entre as fases e a 60 Hz. Observa-se uma pequena variação (inferior a 4,5%) das medições em relação à média, caracterizando alta repetitividade do sistema de aquisição de dados.

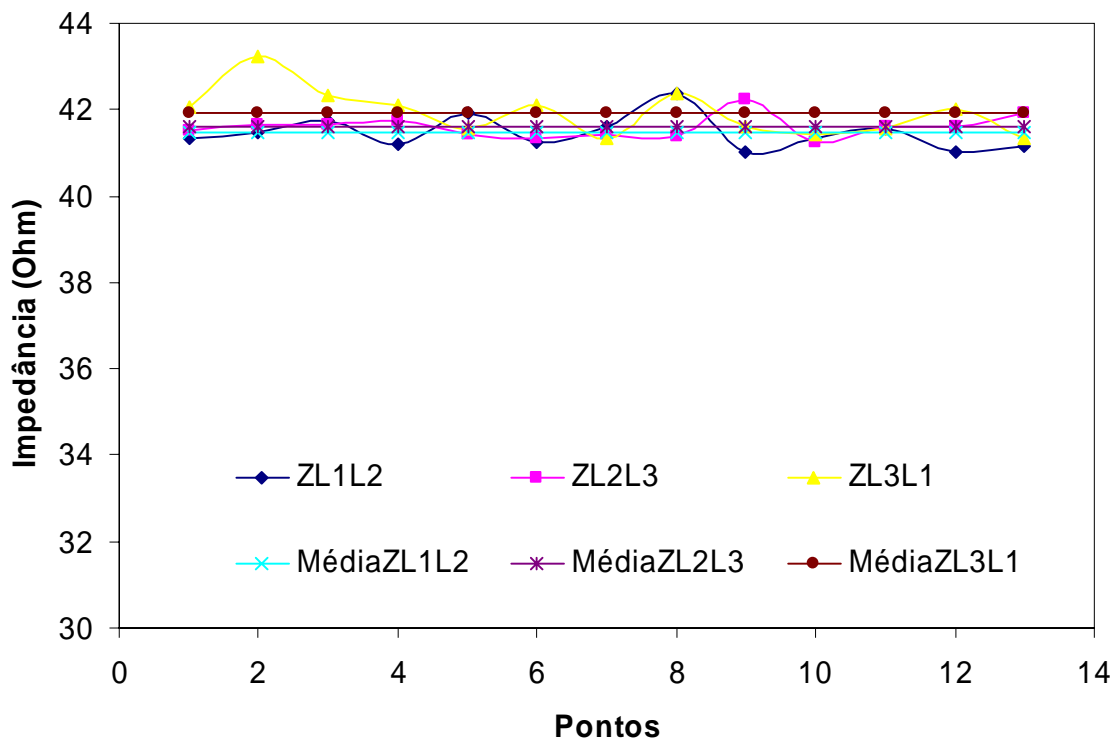


Figura 5.11 Motor-2 sem defeito testado com o sistema de monitoramento a 60 Hz

Os parâmetros estatísticos das amostragens feitas estão apresentados na Tabela 5.4. Nesta tabela se pode verificar desvios padrão de 0,27 a 0,45 Ω , reforçando os comentários anteriores. Neste mesmo sentido, dos 39 valores coletados, 77% foram inferiores a 42 Ω , 20% estavam entre 42 e 43 Ω e apenas 3% apresentaram-se superior a 43 Ω .

Tabela 5.4 Estatística das medidas de impedância do motor-2

Impedância	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
ZL1L2	41,46	41,34	42,36	41,01	0,38
ZL2L3	41,60	41,61	42,22	41,23	0,27
ZL3L1	41,94	42,03	43,25	41,36	0,54

Todos os valores em Ω .

Nas Figuras 5.12 e 5.13, tem-se diferentes medidas de impedância entre fases e para mesma fase. No primeiro gráfico verifica-se grande repetitividade das medidas com pequena dispersão nas frequências mais altas. Por outro lado, o gráfico relativo aos valores de impedância de uma mesma fase, se apresenta sem variações significativas, ou seja, as nove retas dos dados, dos nove conjuntos de medições, se sobrepõem.

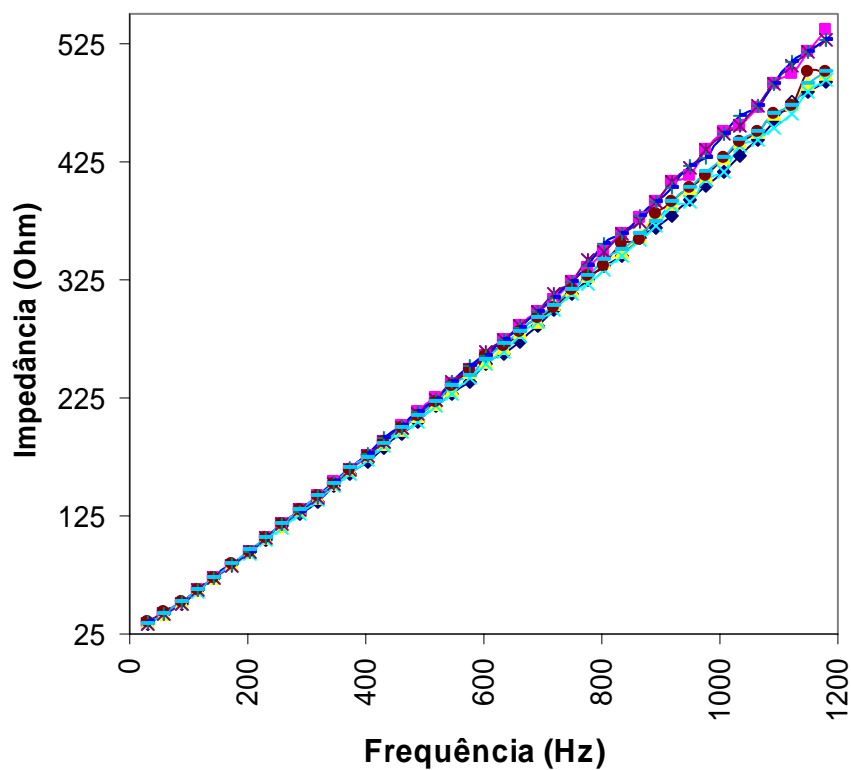


Figura 5.12 Impedância das três fases do motor-2

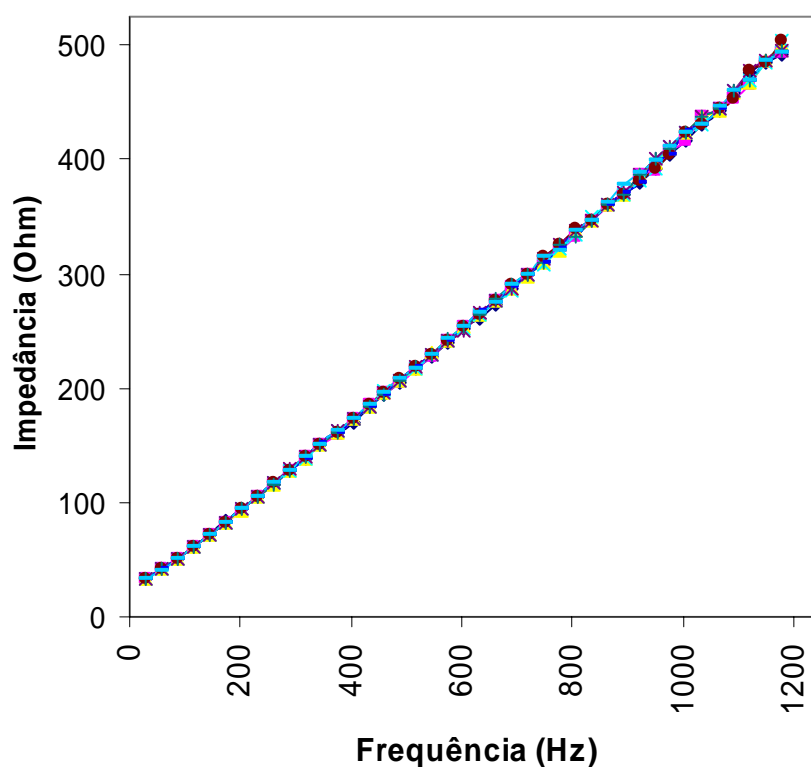


Figura 5.13 Impedância de uma fase do motor-2

As estatísticas das medições de impedância do motor-3 se apresentaram consistentes, apesar deste motor já ter sido usado, Tabela 5.5. Outra dificuldade na rastreabilidade do comportamento deste equipamento, é o fato de não estarem disponíveis informações detalhadas de seu histórico de manutenção.

Tabela 5.5 Estatística das medidas de impedância do motor-3

Impedância	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
ZL1L2	193,24	193,69	195,72	189,14	1,79
ZL2L3	197,28	196,01	200,88	194,55	2,19
ZL3L1	204,32	204,90	205,89	201,49	1,65
Todos os valores em Ω .					

Na Figura 5.14, tem-se três conjuntos de curvas, sendo cada conjunto relativo a uma fase para o motor-3. Observa-se uma diferença entre as curvas das fases, por outro lado, pode ser vista uma acentuada aproximação entre as curvas de uma mesma fase. Este comportamento fica mais evidente na Figura 5.15.

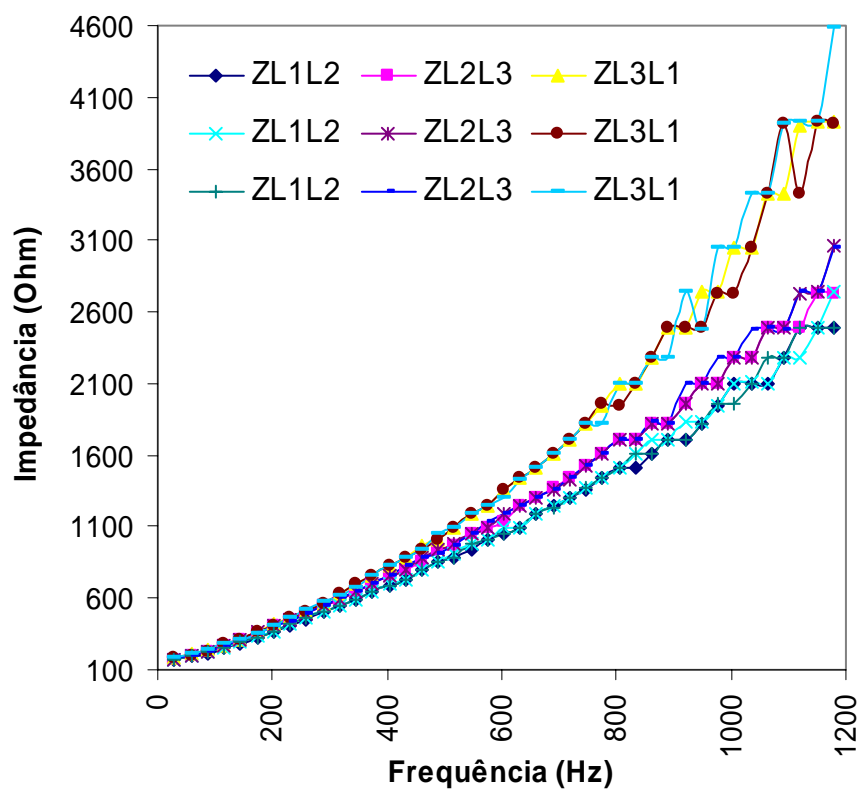


Figura 5.14 Impedância das três fases do motor-3

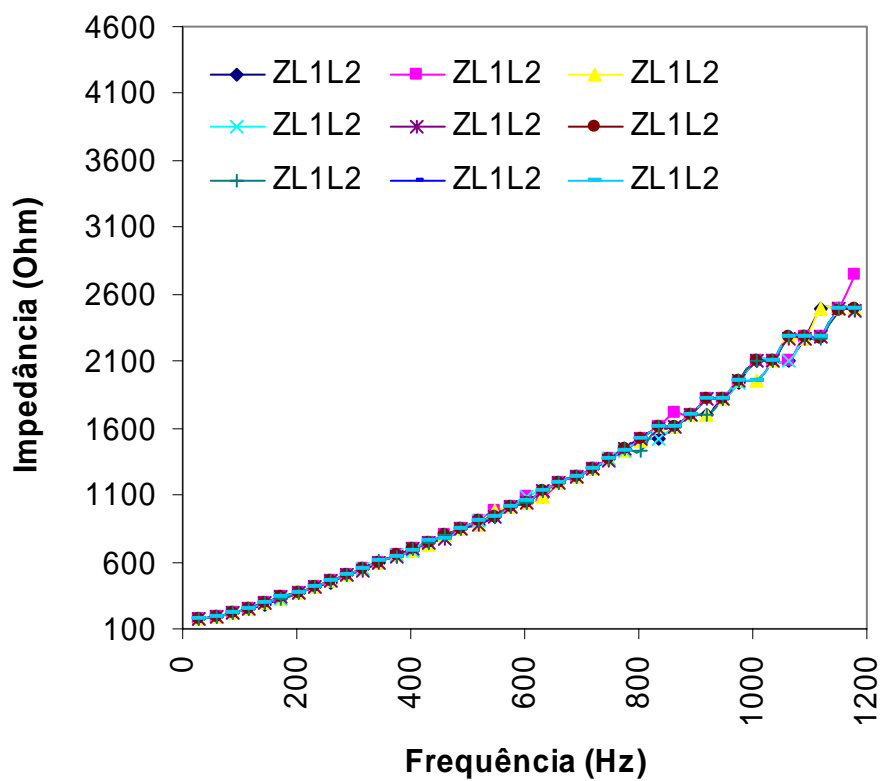


Figura 5.15 Impedância de uma fase do motor-3

5.2.2.3 Avaliação da Sensibilidade do Sistema

A sensibilidade do sistema de aquisição de dados aos defeitos introduzidos no motor, pode ser avaliada pelo estudo do desvio percentual em relação à média e pela consistência entre os valores de impedância na faixa de frequência das medidas.

O desvio percentual de impedância de um MIT (a relação entre a impedância entre dois terminais e a média das impedâncias medidas entre fases) e/ou o gráfico destes parâmetros para uma faixa de frequência, são usados para verificar a integridade de suas bobinas. Nas Figuras 5.16 a 5.22, tem-se as assinaturas de desvios de impedância do motor-2 para a condição normal, ou seja, sem defeito e para seis outras condições de defeito. Na Figura 5.16, pode-se verificar que existem variações de desvios e que estes se acentuam para as frequências mais altas, sendo os desvios relativos à bobina L_2L_3 os mais elevados.

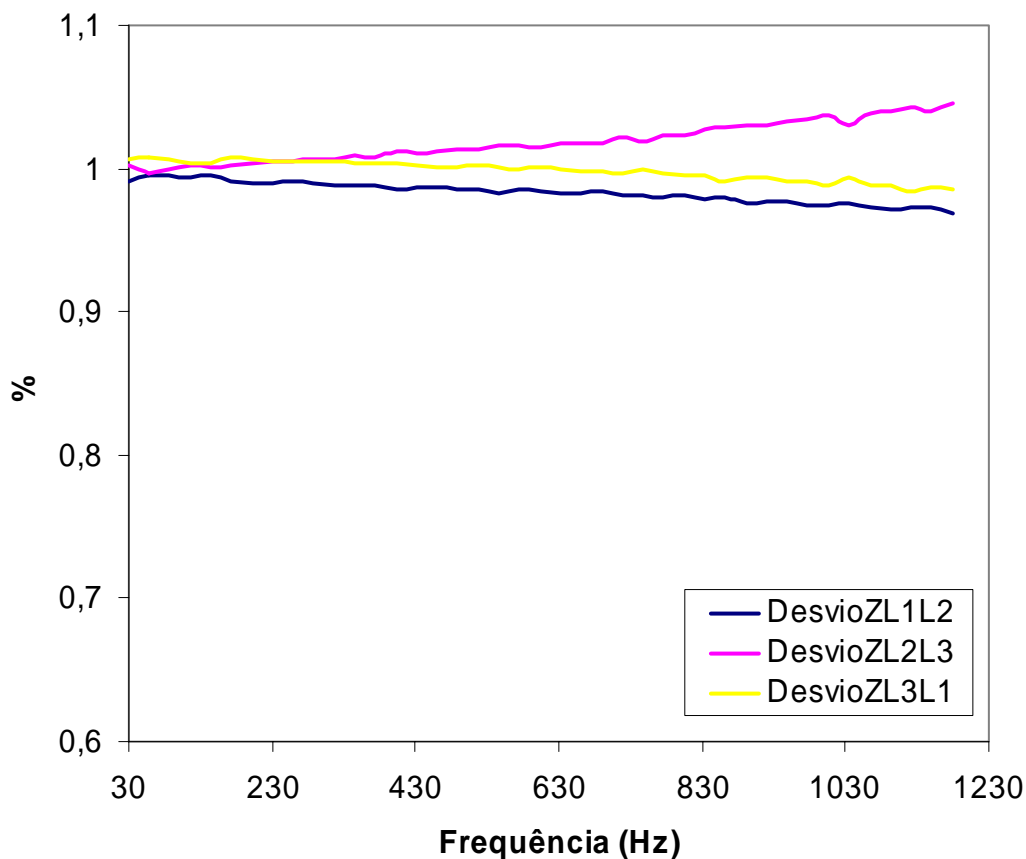


Figura 5.16 Desvio da média do Motor-2 sem defeito

Com a introdução do primeiro defeito, ou seja, curto-circuito de algumas espiras da bobina L_2L_3 , observa-se que a curva de desvios desta bobina mudou de inclinação e teve seus valores reduzidos, enquanto que as curvas das outras duas fases praticamente não foram alteradas, como mostra a Figura 5.17. Este comportamento se repetiu e se tornou mais marcado à medida que defeitos mais intensos foram introduzidos, conforme mostram as Figura 5.18 à 5.22.

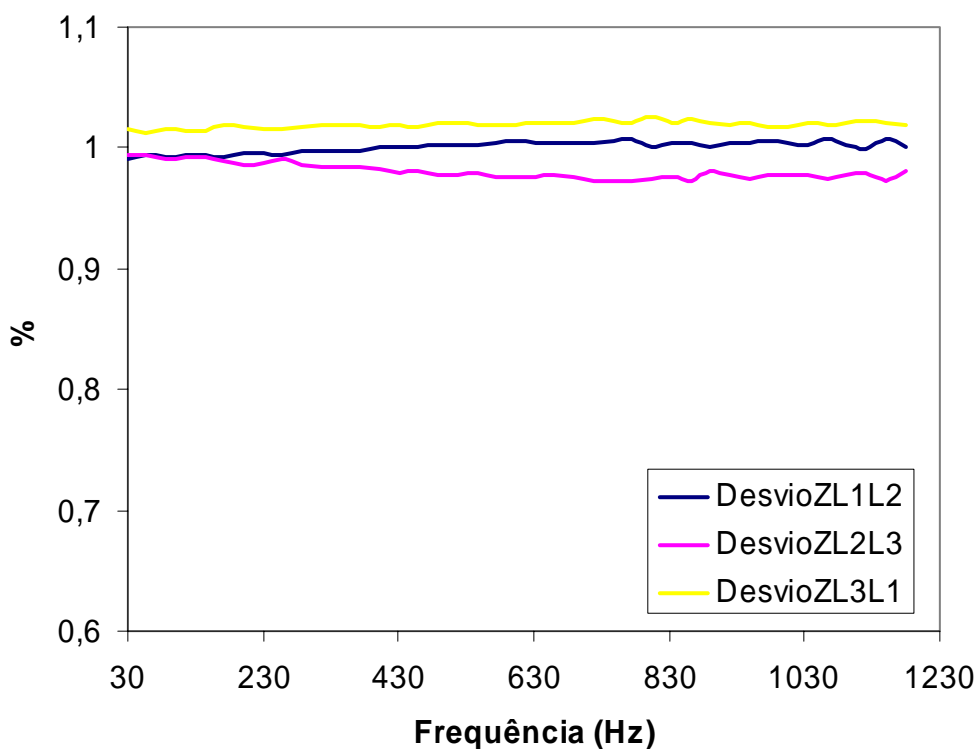


Figura 5.17 Desvio da média do Motor-2 com 2,95% de espiras em curto-circuito

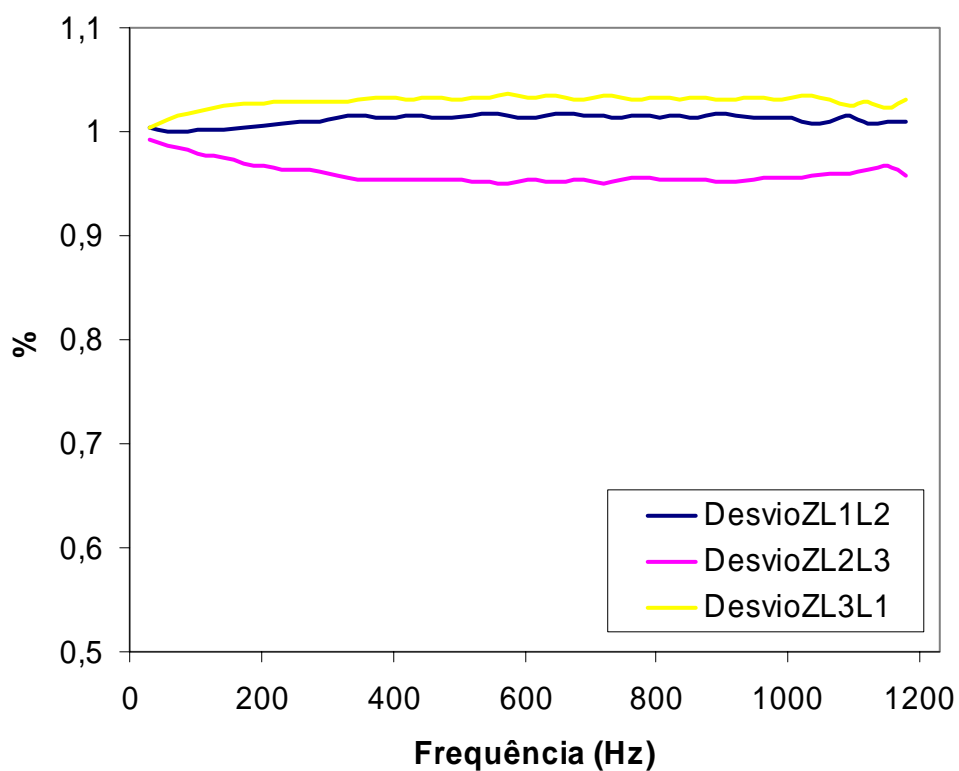


Figura 5.18 Desvio da média do Motor-2 com 5,05% de espiras em curto-circuito

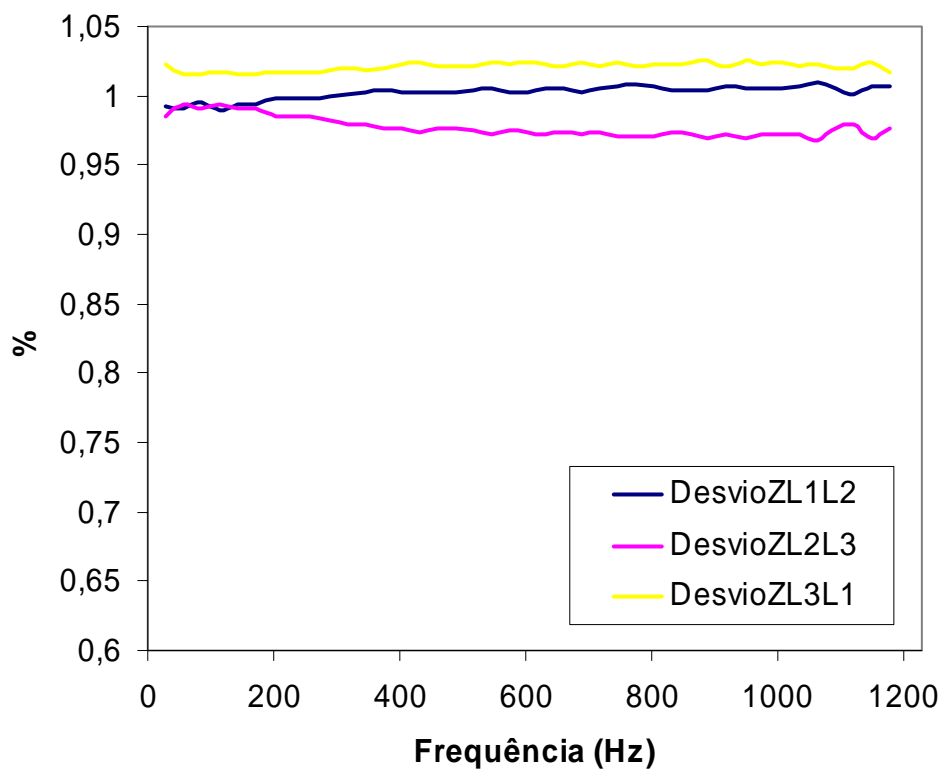


Figura 5.19 Desvio da média do Motor-2 com 3,41% de espiras em curto-circuito

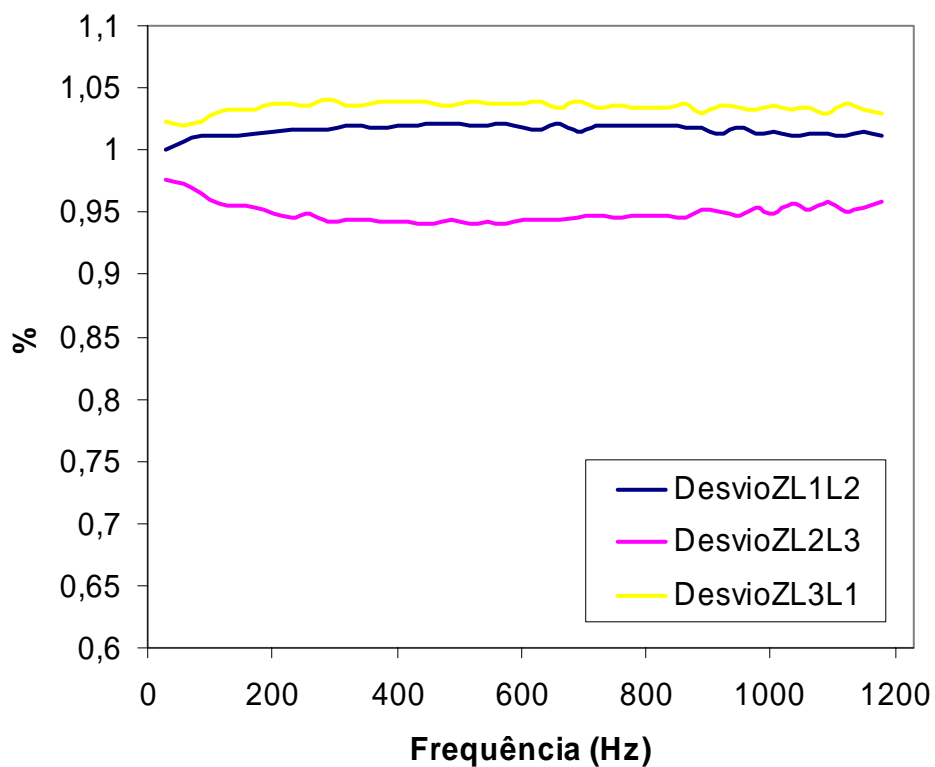


Figura 5.20 Desvio da média do Motor-2 com 8,18% de espiras em curto-circuito

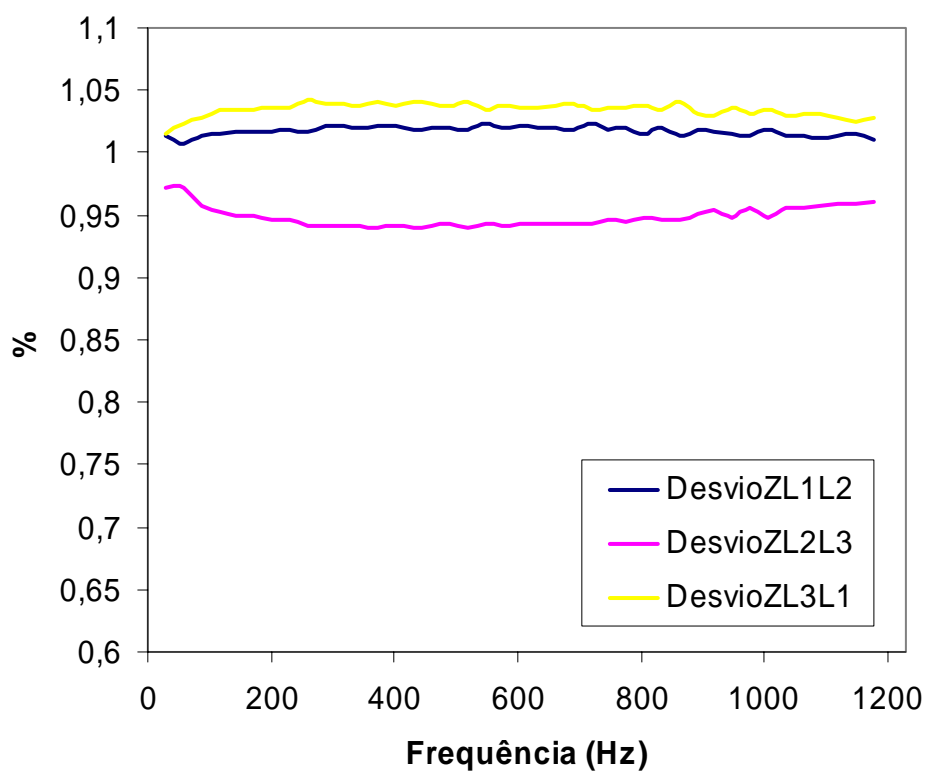


Figura 5.21 Desvio da média do Motor-2 com 8,75% de espiras em curto-circuito

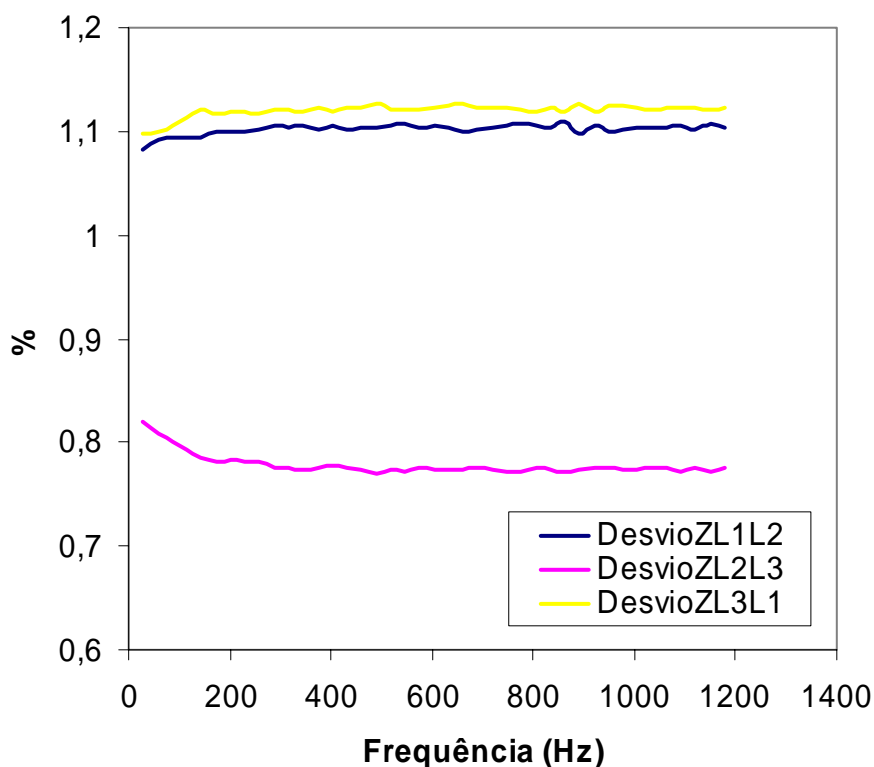


Figura 5.22 Desvio da média do Motor-2 com 47,73% de espiras em curto-circuito

Com os dados obtidos nas experimentações com a interface, foram traçados gráficos que indicam claramente a sensibilidade do sistema de monitoramento desenvolvido às falhas no bobinado do motor-2. A Figura 5.23 foi construída a partir dos valores de impedância do motor-2 sem defeito e observa-se, que as três retas praticamente se sobrepõem. Isso mostra que não há desvios significativos entre os valores medidos de impedância das três fases sobre toda a faixa de frequência do sinal de excitação.

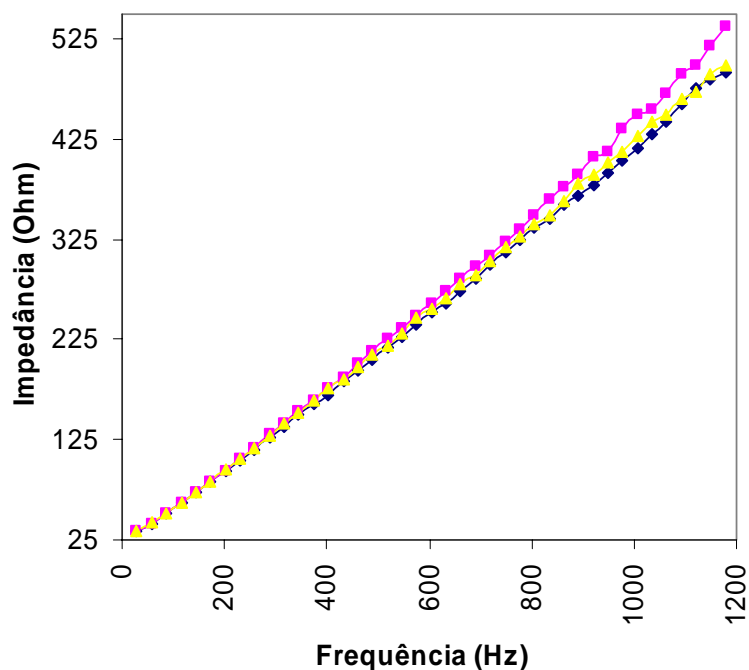


Figura 5.23 Impedância do Motor-2 sem defeito

Por outro lado, na Figura 5.24, fica evidente a influência do curto-circuito entre espiras, propositalmente provocado. Este curto-circuito fez com que a reta magenta fosse deslocada para baixo, sendo que este efeito é mais pronunciado para as frequências mais altas.

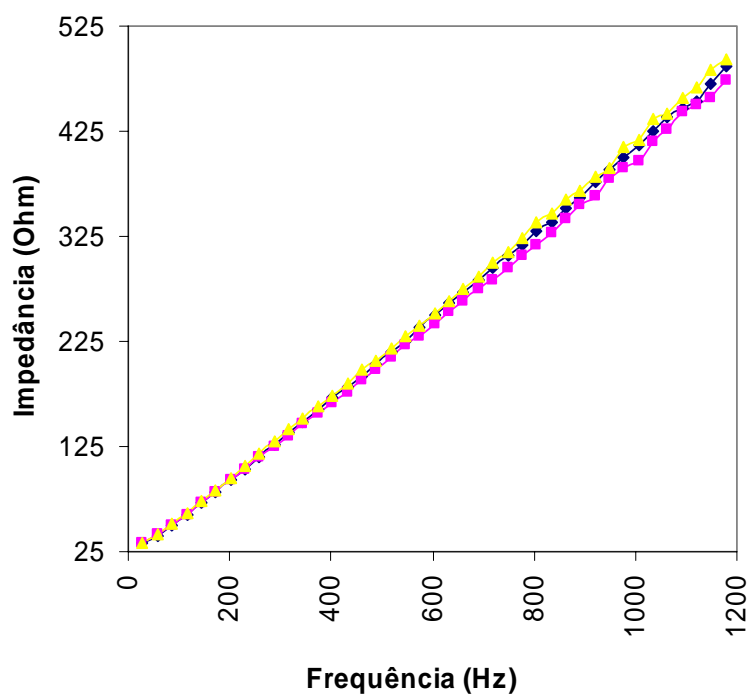


Figura 5.24 Impedância do Motor-2 com defeito

Na Figura 5.25, tem-se uma família de retas traçadas a partir das medições de impedância em função da frequência, de uma bobina do motor-2, sem defeito (reta magenta) e da mesma bobina submetida a sucessivos curtos-circuitos entre espiras. As variações de inclinação, entre a reta superior e outras retas, são funções do número de espiras em curto-circuito. Este resultado demonstra a sensibilidade deste método em relação aos defeitos introduzidos.

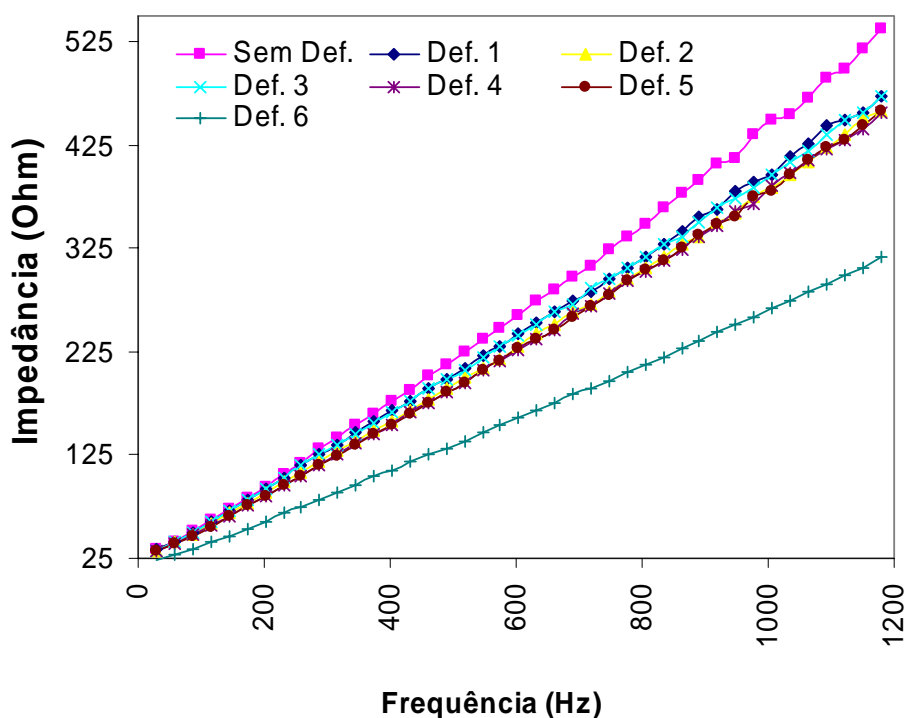


Figura 5.25 Impedância do Motor-2 com sucessivos defeitos

As Figuras 5.6 a 5.25 foram construídos a partir dos valores medidos com o sistema de aquisição de dados desenvolvido. Este equipamento (*hardware e software*) se mostrou confiável, preciso e repetitivo, no monitoramento e na avaliação da integridade de MIT de baixa tensão.

Capítulo 6 Conclusões e Perspectivas

Neste trabalho foi projetado, desenvolvido, montado, testado e validado um sistema de monitoramento de motores elétricos trifásicos de baixa tensão, tipo de indução. Este equipamento é capaz de avaliar, pela medição do espectro de impedância e a medição da resistência de isolamento entre os bobinados e a massa, o estado de conservação deste tipo de motor.

A partir dos resultados das experimentações, pode-se concluir que a metodologia adotada, ou seja, as grandezas observadas, resistência de isolamento (para avaliar a isolação para massa) e impedância (para identificar falhas nas bobinas), assim como a forma e estratégia de medição empregada, são bastante eficazes para monitorar motores de indução trifásicos de baixa tensão. Es

Ambos os processos de medição se mostraram precisos e repetitivos, como visava o objetivo deste projeto. Os resultados apresentados no Capítulo 5 superaram as expectativas e são comprovações inequívocas da qualidade do equipamento desenvolvido.

Também se constata que o sistema é de fácil implementação nas situações de chão de fábrica. Pode ser usado com o auxílio de um computador pessoal (equipamento comum nas salas de painéis das subestações industriais), ou acoplado a um *laptop*, em aplicações pontuais junto aos motores da planta industrial.

Outro ponto de destaque é a independência do sistema, que pode executar as medições de forma automática e sem a interferência de um operador. Isto maximiza o aproveitamento das oportunidades de intervenção nos motores durante as pequenas paradas eventuais. Estas paradas nem sempre seriam utilizadas pelos mantenedores para este fim, uma vez que tais profissionais poderiam estar ocupados em outras atividades e assim não teriam conhecimento da oportunidade. Ou ainda, pelo fato destas paradas eventuais poderem ocorrer enquanto a equipe de manutenção estivesse longe da fábrica.

As características de independência (não depender da intervenção direta do operador), o aspecto de aproveitar oportunidades (pequenas paradas de produção) e a forma de avaliar a condição do motor (pela comparação de desvios de impedância e pela condição da isolação), são

pontos que diferenciam o SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MONITORAMENTO E PREDIÇÃO DE FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS, desenvolvido no desenrolar deste projeto de pesquisa dos sistemas existentes no mercado, ou ainda das alternativas propostos em iniciativas acadêmicas anteriores relatadas no Capítulo 2.

Na apreciação deste grupo de pesquisa, esta é uma ferramenta poderosa para os especialistas de manutenção na tomada de decisão. Com este sistema é possível aumentar o tempo médio entre falhas dos motores e proporcionar condições para que as intervenções de manutenção sejam planejadas com antecedência. Também é possível aumentar, o foco do planejamento e manutenibilidade, reduzindo o tempo de indisponibilidade dos processos produtivos e aumentando a confiabilidade geral da planta industrial.

Vale ressaltar que este desenvolvimento é totalmente de tecnologia nacional, quebrando um ciclo de dependência da tecnologia estrangeira, que acarreta altos custos de aquisição, treinamento de pessoal e atualização periódica e forçada tanto de *hardware* como de *software*.

Como desenvolvimentos futuros, entende-se que existem várias oportunidades de melhoria deste sistema, conforme mencionados a seguir:

- Adoção de inteligência ao sistema, com a implementação de um micro-controlador para o comando da interface de aquisição de dados;
- Capacitação para operar em rede e integração com outros sistemas de sensoriamento;
- Dotação de acesso aos dados e comandos *via Internet*;
- Miniaturização do dispositivo, principalmente com a utilização de conversor cc/cc no lugar da fonte da 500 V_{cc} usada no protótipo atual;
- Introdução de opção de medição de Índices de Absorção e Polarização pela implementação de uma sub-rotina no código de programação;
- Aquisição dos dados de temperatura do bobinado por sondas térmicas internas aos motores (tipo PT-100), para permitir a correção dos valores de resistência de isolamento, e comparação entre valores de isolamento referenciados a uma mesma temperatura (40°C);
- Desenvolvimento de *hardware* e *software* para medir outras grandezas, como: resistência ôhmica, capacitância e ângulo de fase;

- Adequação para monitoramento automático de vários motores pré-selecionados, a partir da subestação como ilustra a Figura 6.1;
- Aprimoramento do módulo especialista de análise por *software*, permitindo, por exemplo, a geração de relatórios de mais fácil leitura e análise pelo usuário;

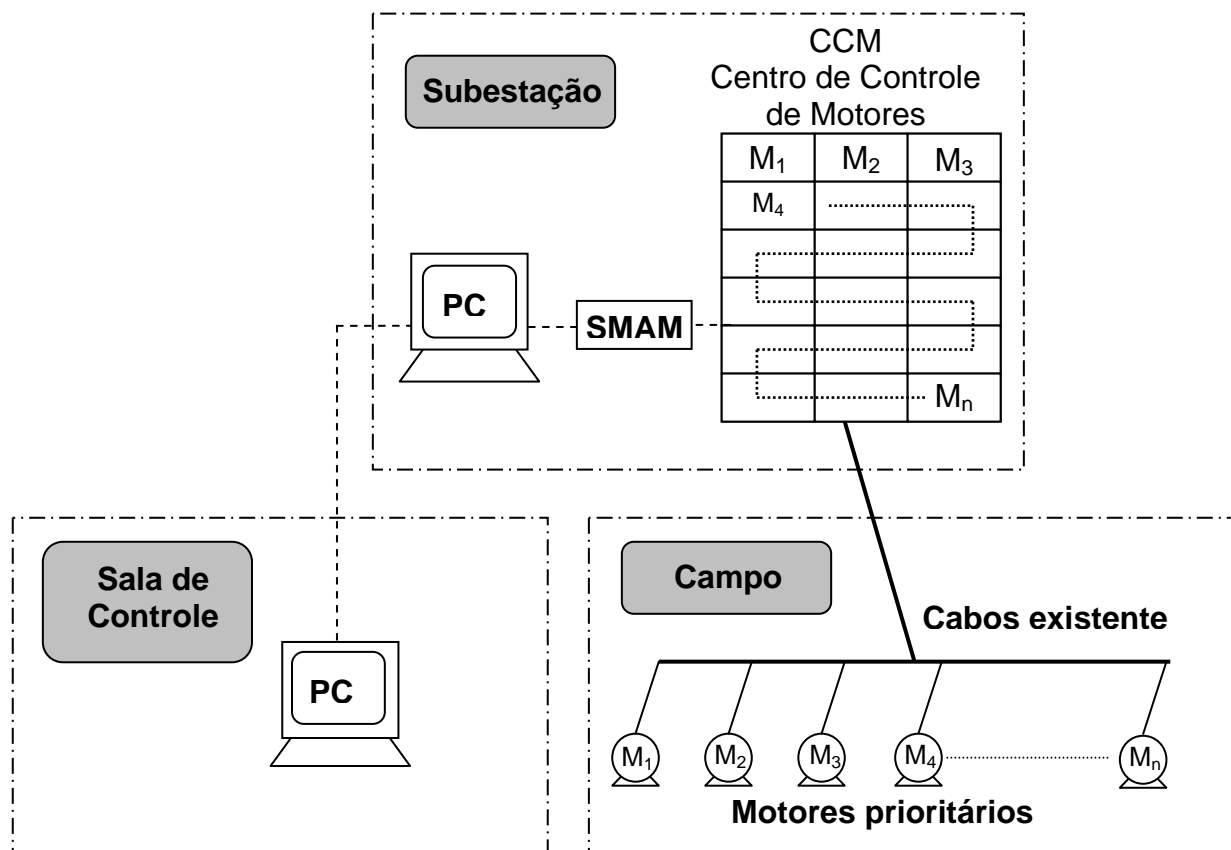


Figura 6.1 Sistema de monitoramento automático de vários motores

REFERENCIAS

ABRACE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GRANDES CONSUMIDORES INDUSTRIAIS DE ENERGIA E CONSUMIDORES LIVRES, **Consumo de Energia Elétrica entre Nov/2004 e Nov/2005**. Disponível em <http://www.abrace.org.br/> acesso em: 17 jan. 2005.

ANDRÉ, Leandro. **Sistema de Monitoramento de Seccionadores de Alta Tensão em Subestações**. Prêmio Jovem Pesquisador. Furnas. Rio de Janeiro 2004.

BONNETT, Austin H.; YOUNG, Chuck. **Explaining Motor failure**. *Electrical Construction and Maintenance Magazine*. No. 10, Oct. 2004a.

BONNETT, Austin; YOUNG, Chuck. **Explaining Motor Failures**. *Electric Construction and Maintenance Magazine*, Vol. 103, No.10, 2004b.

BOWERS, S. V.; PIETY, K. R. **Proactive Motor Monitoring Through Temperature, Shaft Current and Magnetic Flux Measurements**. *CSI Computacional Systems, Inc.* Knoxville, TN USA, 1994.

BRANCATO, Emanuel. **Estimation of Lifetime Expectancies of Motors**. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol.8, No. 3 May/Jun 1992.

BRANCATO, Emanuel. **Life Expectancy of Motors**. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol.7, No. 6 Nov./Dec. 1991.

BREEN, Thomas B.; KLIMAN, Gerald B.; PATEL, Subhash C. **New Developments in Non-invasive On-line Motor Diagnostic**. *GE Power Management*. Malvern, PA USA, 1996.

BRITO, Jorge Nei. **Desenvolvimento de um Sistema Inteligente Híbrido para Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Bour Brown, **OPA544 High-voltage/High-current Operational Amplifier**, Tucson, Az USA , Sep 1995.

CRUZ, Sérgio M. A.; CARDOSO, A.J. Marques. **Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Synchronous and Asynchronous Motors, by the Extended Park's Vector Approach**. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol.37, No. 5, Sep./Oct. 2001.

DAPPER, Charles Diovane e outros. **Introdução ao Estudo de Sistemas Especialistas**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos 2003.

Fairchild Semiconductor Corporation, **DM74LS138 Decoder/Demultiplexer** Irving, Tx USA, Mar 2000.

FARAG, S. F.; BARTHELD, R. G.; HABETLER, T. G.. **An Integrated, On-line, Motor Protection System**. Siemens Energy & Automation, Inc, Turker GA, 1994.

GOKDERE, Levent U. **Lifetime Control of Electromechanical Actuators**, Rockwell Scientific IEEAC paper#1288, Version 2, Thousand Oaks, CA USA Dec. 2004 .

HOLFHEINZ, Wolfgang. **Protective Measures with Insulation Monitoring**. 2^a ed. Berlin: VDE Verlag, 2000.

HUO, Bin; TRZYNADLOWSKI, Andrzej M. **Stator Fault detector for AC Motors Based on the TMS320F243 DSP Controler**, University of Nevada, Electrical Engineering Department. Reno NV USA, 1999.

Imagem Termográfica disponível em: <http://www.flirthermography.com/>. Acesso em: 10 abr. 2006.

Institute of Electrical and Electronics Engineers _____. **Std-43 - Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Roatting Machinery**. 2000.

Institute of Electrical and Electronics Engineers _____. **Std-51 - Guiding Principles for Dielectric Tests**.1977.

Institute of Electrical and Electronics Engineers _____. **Std-95 - Recommended practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Direct Voltage**. 1991.

Institute of Electrical and Electronics Engineers _____. **Std-1284 - Standard Signaling Method for a Bi-directional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers**. 1994.

JOKSIMOVIC, Gojko; PENMAN, Jim, **The Detection of Interturn Short Circuits in Stator Winding of Operating Motors**. University of Aberdeen. Aberdeen Scotland, UK, 1974.

KIAMEH, Philip. **Electrical Equipment Handbook: Troubleshooting and Maintenance**. McGraw-Hill, 2004.

KOSOW, Irving I. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Vol. 1 e 2. 4^a ed. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1982.

LANHAM, Curtis. **Understanding the Test that are Recommended for Electric Motor Predictive Maintenance**. Baker Instrument Company. Disponível em: site www.reliabilityweb.com. Acesso em: 10 abr. 2006.

LLOYD, B.A.; STONE G.C.; STEIN J. **Motor Insulation Condition Assessement Using Expert Systems Software**. Ontario Canada, 1994.

MEDEIROS, S. Filho. **Fundamentos de Medidas Eléctricas**, 2ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

Micro Linear, **ML2035 Serial Input Programmable Sine Wave Generator**, San Jose, CA USA, Feb 1997.

NOGUEIRA, José Helano Matos. *et al.* **Expert SINTA: Uma Ferramenta Visual Geradora de Sistemas Especialistas**. LIA/ Departamento de Computação, Universidade Federal do Ceará - UFCE. Fortaleza, 1998.

OUPERELOEIL, Tita. **Artificial Intelligence- Applications in Asset Care. Plant Services Magazine**. Kingwood, TX USA, Feb.1998.

PENROSE, Howard W. **Estimating Motor Life using Motor Circuit Analysis Predictive Measurements, Part I/II**. BJC Corp. Old Saybrook, CT USA, Aug. 2003. Disponível em: www.reliabilityweb.com. Acesso em: 10 abr. 2006.

PENROSE, Howard W. **Guideline for Electronic Static Winding Circuit Analysis of Rotating Machinery and Transformer**. BJC Corp. Old Saybrook, CT USA, 2001.

PENROSE, Howard W. **Low Voltage Vs High Voltage Testing**. BJC Corp. Old Saybrook, CT USA, Aug. 2003.

PENROSE, Howard W. **Motor Circuit Analysis: Theory, Application and Energy Analysis**. BJC Corp. Old Saybrook, CT USA, 2002.

PENROSE, Howard W. **The Multi Technology Approach to Motor Diagnostics**. BJC Corp. Old Saybrook, CT USA, 2002.

PINTO, Cajetan. **Charge/Discharge Teste of High Voltage Motors**. ABB India, 2004.

SANZ-BOBI, Miguel Angel. e outros. **Diagnosis of the Electrical Motors of a Train using Self-organised Maps**. University Pontificia Comillas, IIT, Madrid Spain, 2000.

SCHAEFFERT, E.; LE CARPENTIER, E.; ZAIM, M. E. **Failure detection in Induction Machine by Means of Parametric Identification**. Institut de Recherche en Cybernétique de Nantes. Nantes France. 1996.

SIDDIQUE, Arfat; YADAVA, G. S.; SINGH, Bhim. **A Review of Stator Fault Monitoring Techniques of Induction Motors**, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol.20, No. 1, Mar. 2005.

SIEMENS. **Basic of AC Motors**. Disponível em: <http://www.sea.siemens.com/step>. Acesso em: 12 nov. 2007.

SOARES, Ulisses Nery. **Análise dos Sinais de Fluxo Magnético para Detectar Falhas em Rotores de Motores Elétricos**, trabalho técnico, 19º Congresso Brasileiro de Manutenção, Abraman, Porto Alegre set. 2002.

SOTTILE, Joseph Jr; KOHLER, Jeffrey L. **Techniques for Improved Predictive Maintenance Testing of Industrial Power System**. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol.25, No. 6, Nov./Dec.1989.

STONE, Greg C. e outros. **Electrical Insulation for Rotating Machines**, *IEEE Press*, Piscataway, NJ 2004.

Texas Instruments, **ADS7804 12-Bit 10µs Sampling CMOS Analog-To-Digital Converter**, Dallas, Tx USA, Jan 1992.

Texas Instruments, **74LS374 Octal D-Type Transparent Latches And Edge-Triggered Flip-Flops**, Dallas, Tx USA, Aug 2002.

Texas Instruments, **74LS244 Octal Buffers And Line Drivers With 3-State Outputs**, Dallas, Tx USA, Feb 2002.

THOMSON, William T. **On-line MCSA to Diagnose Shorted Turns in Low Voltage Stator Winding of 3-Phase Induction Motors Prior to Failure**. *The Robert Gordon University*. Aberdeen Scotland UK, 2000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - UFRJ. CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica e Escola de Engenharia. **Guia Operacional de Motores Elétricos**. Versão 1.0. Rio de Janeiro, 1998.

WEG. Motores Elétricos, Linhas de Produtos, Características, Especificações, Instalações e Manutenção. Jaraguá do Sul, jun.2005.

VERRI, Luiz Alberto. **Técnicas que Podem Reduzir as Queimas de Motores Elétricos**. *Revista Eletricidade Moderna*. Rio de Janeiro, No.263, fev. 1996.

WILSON, John. **Current State of Surge Testing Induction Machines**. *Baker Instrument Company*. *Iris Rotating Machines Conference*. Santa Monica, CA USA, Jun. 2003.

WINFIELD, Charles e outros. **Outsourcing Modern Technology to increase profits and Enhance Reliability**. *NPRA Refinery and Petrochemical Plant Maintenance Conference*. Houston Tx USA, Agu. 2000.

APÊNDICE A – Pesquisa sobre utilização de motores na indústria

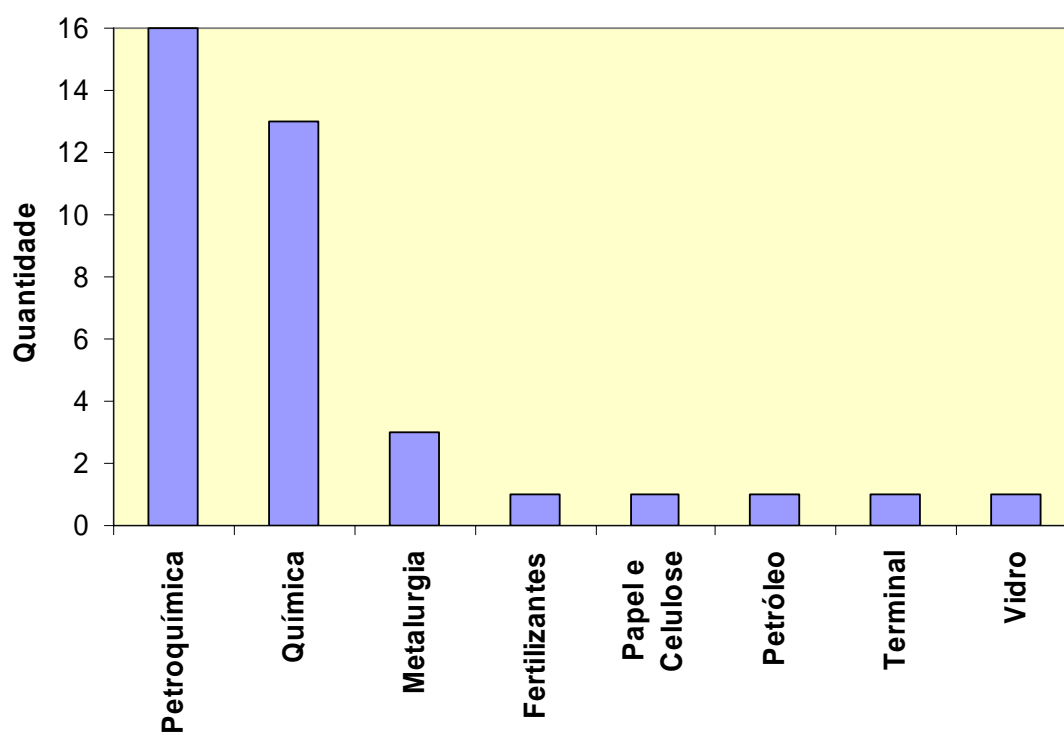
Formulário da pesquisa em meio eletrônico (planilha Microsoft Excel)

Pesquisa de Motores na Indústria			
Empresa			
Localização			
Ramo de Atividade			
Ano de Início de Operação			
Principal Produto			
Dados por Unidade de Produção no Site			
UNIDADE-1			
Quantidade de Motores Instalados			
Corrente Alternada		Corrente Contínua	
Média Tensão	Baixa Tensão		
UNIDADE-2			
Quantidade de Motores Instalados			
Corrente Alternada		Corrente Contínua	
Média Tensão	Baixa Tensão		
UNIDADE-3			
Quantidade de Motores Instalados			
Corrente Alternada		Corrente Contínua	
Média Tensão	Baixa Tensão		
UNIDADE-4			
Quantidade de Motores Instalados			
Corrente Alternada		Corrente Contínua	
Média Tensão	Baixa Tensão		

Dados levantados na pesquisa										
Produto	Estado	Data Fundação	Ramo de Atividade	Quantidade de Motores Instalados			Total	Percentual		
				Média Tensão	Corrente Alternada	Corrente Contínua		Média Tensão	Corrente Alternada	Corrente Contínua
				Média Tensão	Corrente Alternada	Corrente Contínua		Média Tensão	Corrente Alternada	Corrente Contínua
Fertilizantes	MG	1980	Fertilizantes	48	1002	5	1055	4,55	94,98	0,47
Cobre eletrolítico e ácido sulfúrico	BA	1982	Metalurgia	13	772	16	801	1,62	96,38	2,00
Cobre eletrolítico e ácido sulfúrico	BA	1982	Metalurgia	23	251	1	275	8,36	91,27	0,36
Tubos	MG	1952	Metalurgia	45	9300	500	9845	0,46	94,46	5,08
Celulose	PA	1976	Papel e Celulose	87	1168		1255	6,93	93,07	0,00
Petróleo	AS	1980	Petróleo	120	1600		1720	6,98	93,02	0,00
Olefinas	BA	1978	Petroquímica	12	228		240	5,00	95,00	0,00
Olefinas	BA	1992	Petroquímica	32	218		250	12,80	87,20	0,00
Aromáticos	BA	1965	Petroquímica	41	812		853	4,81	95,19	0,00
PVC/MVC	BA	1978	Petroquímica	50	680	5	735	6,80	92,52	0,68
Copolactama	BA	1979	Petroquímica	6	426	0	432	1,39	98,61	0,00
Poliuretano Linear e alta densidade	BA	1992	Petroquímica	11	258	11	280	3,93	92,14	3,93
PET	BA	1988	Petroquímica	11	270	0	281	3,91	96,09	0,00
PEBD Unid.-11	RS	1985	Petroquímica	4	66	0	70	5,71	94,29	0,00
PEBD Unid.-12	RS	1985	Petroquímica	4	68	0	72	5,56	94,44	0,00
Utilidades	RS	1985	Petroquímica	5	45	0	50	10,00	90,00	0,00
Poliuretano alta densidade	BA	1978	Petroquímica	11	535	9	555	1,98	96,40	1,62
Poliuretano BD	BA	1987	Petroquímica	8	100	1	109	7,34	91,74	0,92
Poliuretano BD	BA	1987	Petroquímica	8	100	1	109	7,34	91,74	0,92
Poliuretano Linear	BA	1992	Petroquímica	27	287	2	316	8,54	90,82	0,63
Poliuretano Linear	RJ	2006	Petroquímica	78	2014	4	2096	3,72	96,09	0,19
Polipropileno	BA	1979	Petroquímica	5	340	10	355	1,41	95,77	2,82
Corantes+Farmacêuticos	RJ	1970	Química	0	1240	0	1240	0,00	100,00	0,00
Linear Alquil Benzeno - LAB	BA	1981	Química	3	45	0	48	6,25	93,75	0,00
Linear Alquil Benzeno - LAB	BA	1981	Química	7	120	0	127	5,51	94,49	0,00
Linear Alquil Benzeno - LAB	BA	1981	Química	12	80	0	92	13,04	86,96	0,00
COLORO / CAUSITICA	BA	1975	Química	50	800	2	852	5,87	93,90	0,23
Celulose	BA	1981	Química	3	175	2	180	1,67	97,22	1,11
Óleo Mineral Branco	BA	1978	Química	0	96	0	96	0,00	100,00	0,00
Adesivos	SP	1970	Química	0	339	0	339	0,00	100,00	0,00
Herbicida	BA	2001	Química	2	98	0	100	2,00	98,00	0,00
Herbicida	BA	2001	Química	1	74	0	75	1,33	98,67	0,00
Herbicida	BA	2001	Química	3	115	0	118	2,54	97,46	0,00
Borracha	RJ	1962	Química	25	950	2	977	2,56	97,24	0,20
Lubrificantes	RJ	1970	Química	0	226	0	226	0,00	100,00	0,00
Terminal Petroquímico	BA	1978	Terminal	5	187	0	192	2,60	97,40	0,00
VidrosPlanos	SP	1957	Vidro		80	20	100	0,00	80,00	20,00

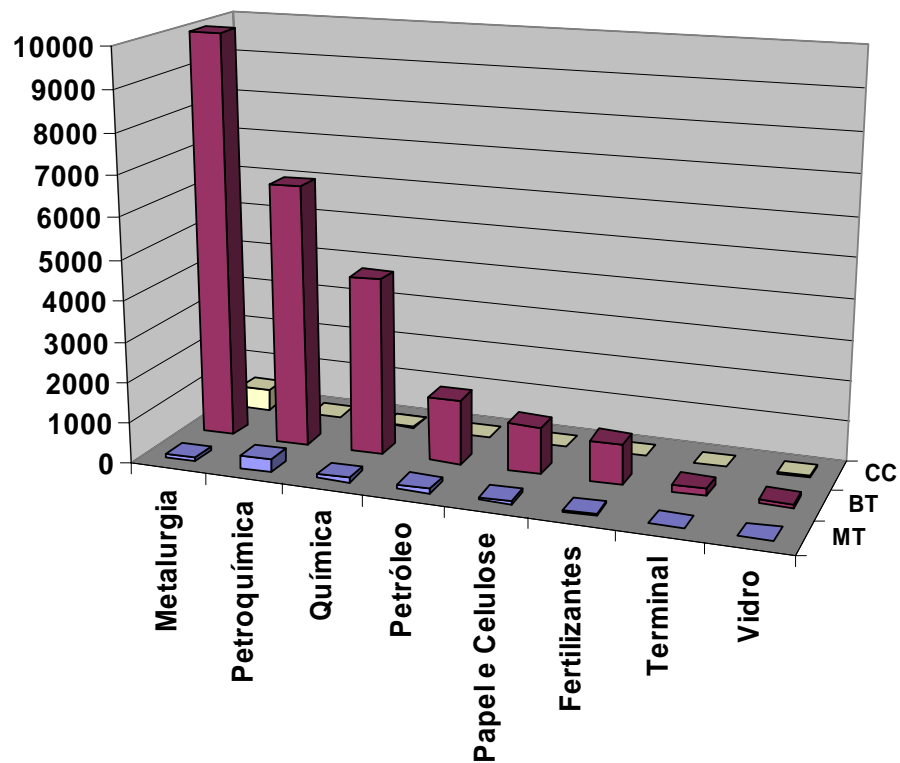
Empresas pesquisadas x Ramo de atividade

Ramo de Atividade	No. de Empresas	Percentual
Fertilizantes	1	2,70
Metalurgia	3	8,11
Papel e Celulose	1	2,70
Petróleo	1	2,70
Petroquímica	16	43,24
Química	13	35,14
Terminal	1	2,70
Vidro	1	2,70
	37	100,00

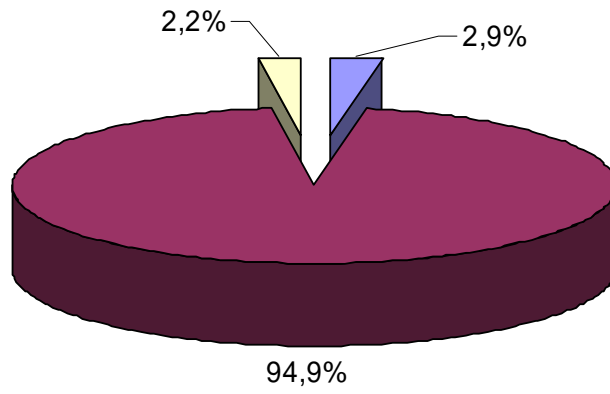


Quantidade de motores x Ramo de atividade

Ramo de Atividade	Quantidade de Motores Instalados			Total
	Corrente Alternada		Corrente Contínua	
	Média Tensão	Baixa Tensão		
Fertilizantes	48	1002	5	1055
Metalurgia	81	10323	517	10921
Papel e Celulose	87	1168	0	1255
Petróleo	120	1600	0	1720
Petroquímica	313	6447	43	6803
Química	106	4358	6	4470
Terminal	5	187	0	192
Vidro	0	80	20	100
Totais	760	25165	591	26516

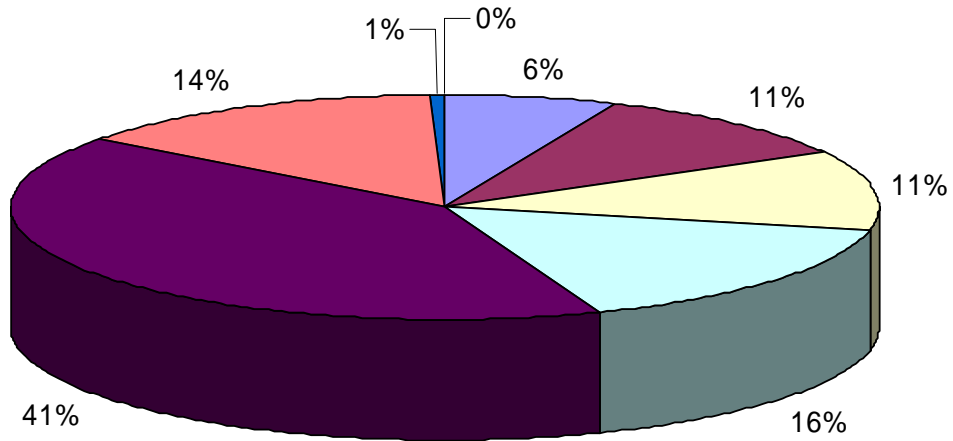


Motores por tipo



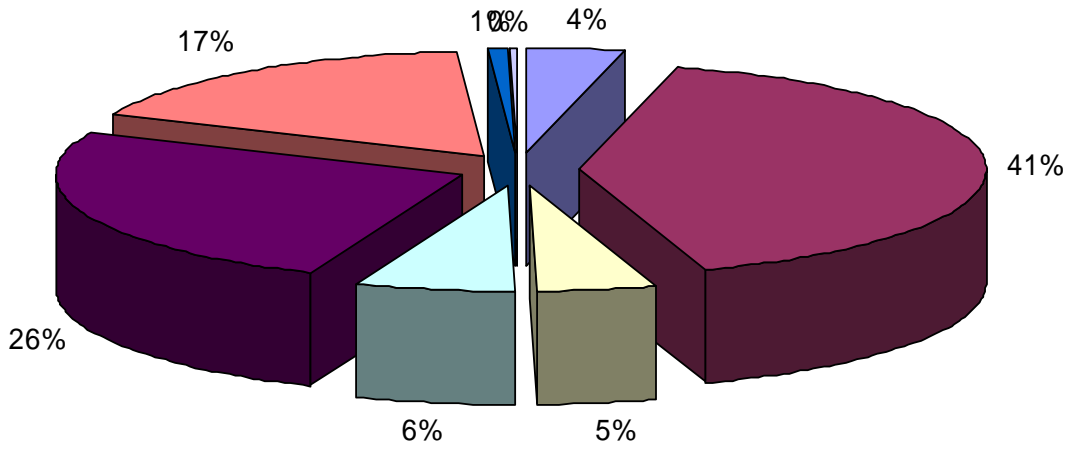
■ Média Tensão ■ Baixa Tensão ■ C.Contínua

Motores de Média Tensão x Ramo de atividade



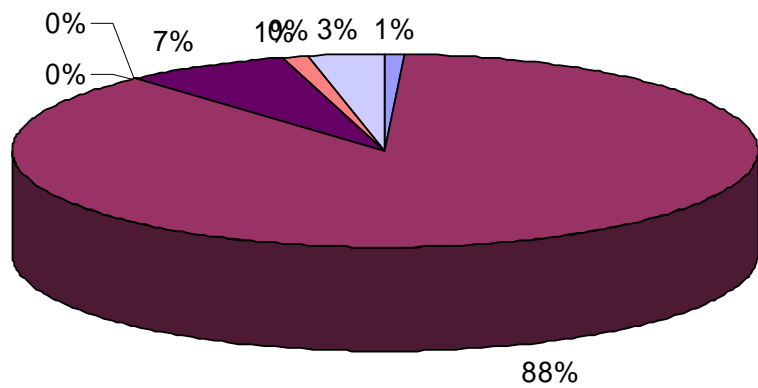
■ Fertilizantes ■ Metalurgia ■ Papel e Celulose
■ Petróleo ■ Petroquímica ■ Química
■ Terminal ■ Vidro

Motores de Baixa Tensão x Ramo de atividade



- Fertilizantes
- Metalurgia
- Papel e Celulose
- Petróleo
- Petroquímica
- Química
- Terminal
- Vidro

Motores de Corrente Contínua x Ramo de atividade



- Fertilizantes
- Metalurgia
- Papel e Celulose
- Petróleo
- Petroquímica
- Química
- Terminal
- Vidro

APÊNDICE B – Diagramas dos circuitos

Diagrama da Placa de Ligação do Motor-2

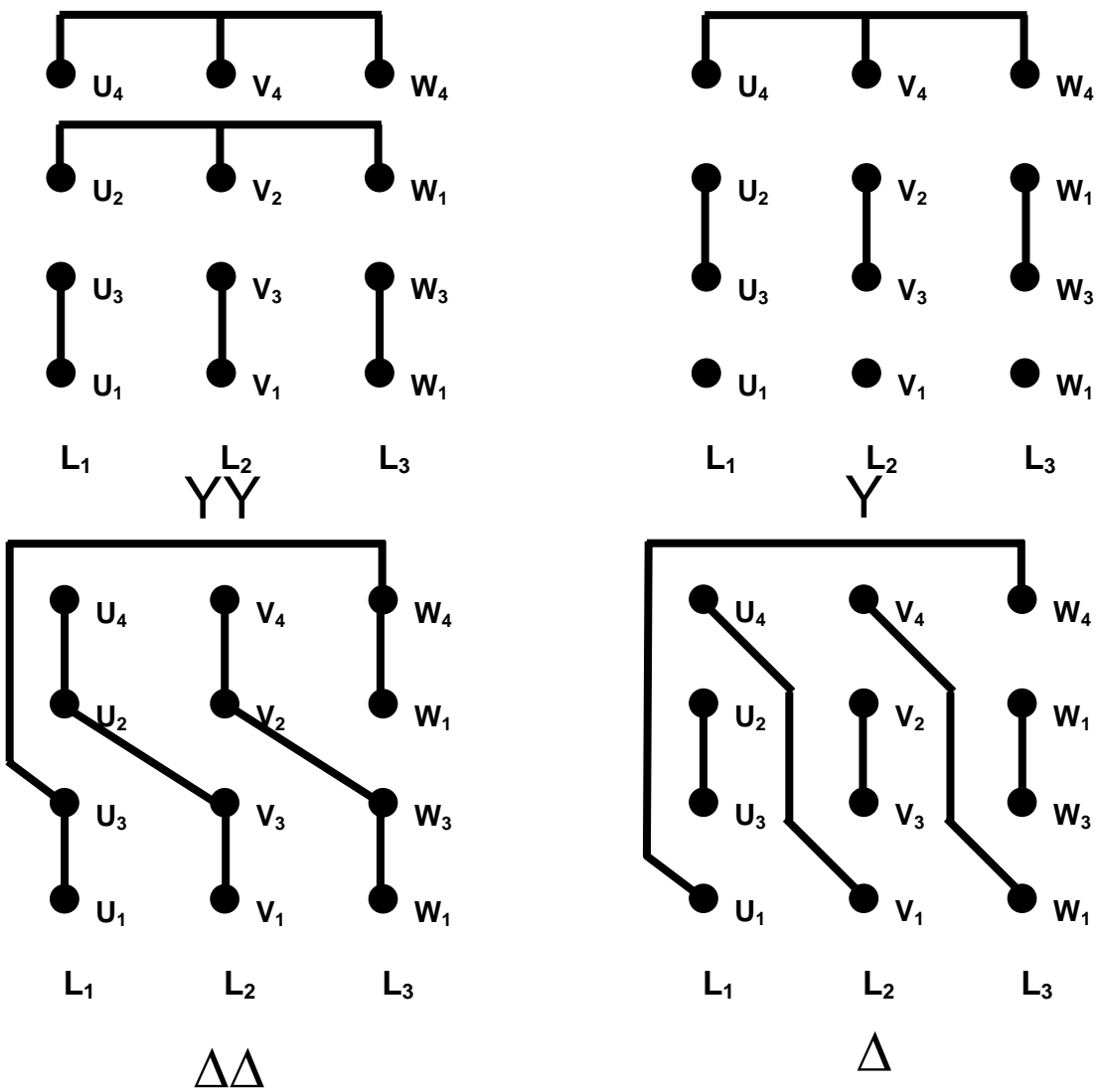


Diagrama do sistema de medição de resistência de isolamento – idéia inicial

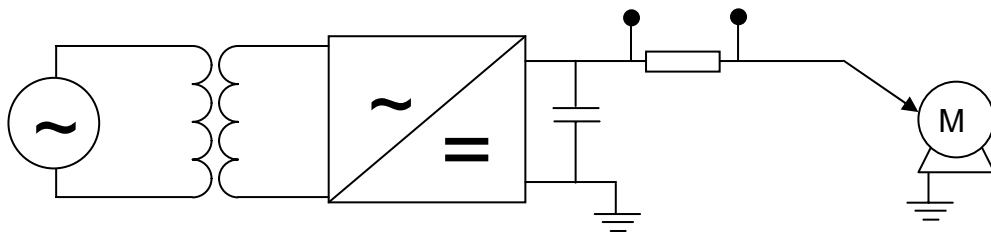
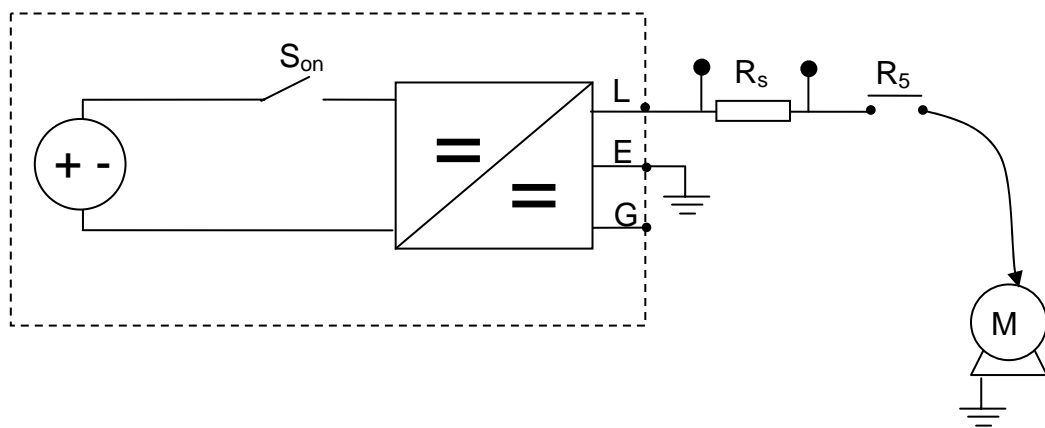


Diagrama do sistema de medição de resistência de isolamento – Com MI-261
MI-261



- R_5 – Contato NA do relé R_5
- S_{on} – Chave de Liga (Push 500V)
- L – Terminal LINE
- E – Terminal EART
- G – Terminal GUARD
- R_s – Resistor Série de 10 k Ω para Medição da Corrente de Fuga

Diagrama do sistema de medição de resistência de isolamento – idéia inicial
Modificada

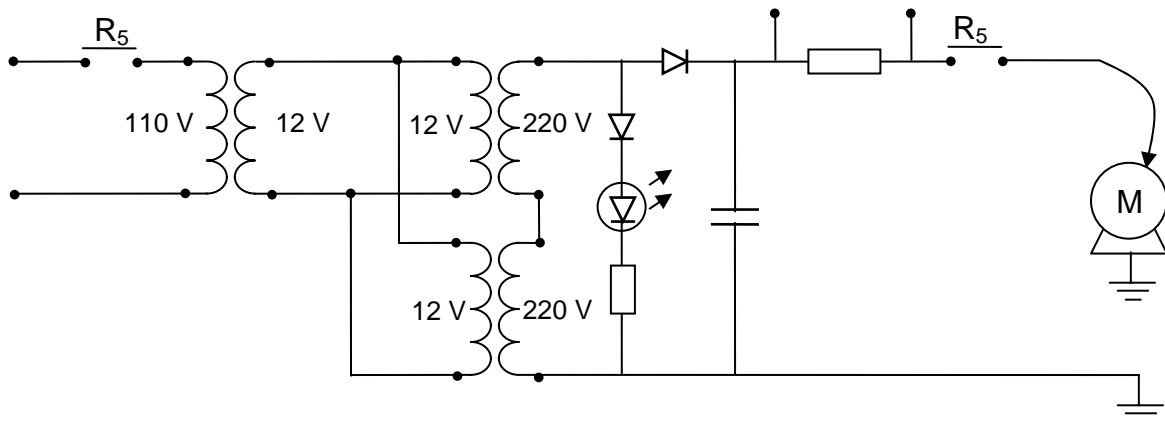
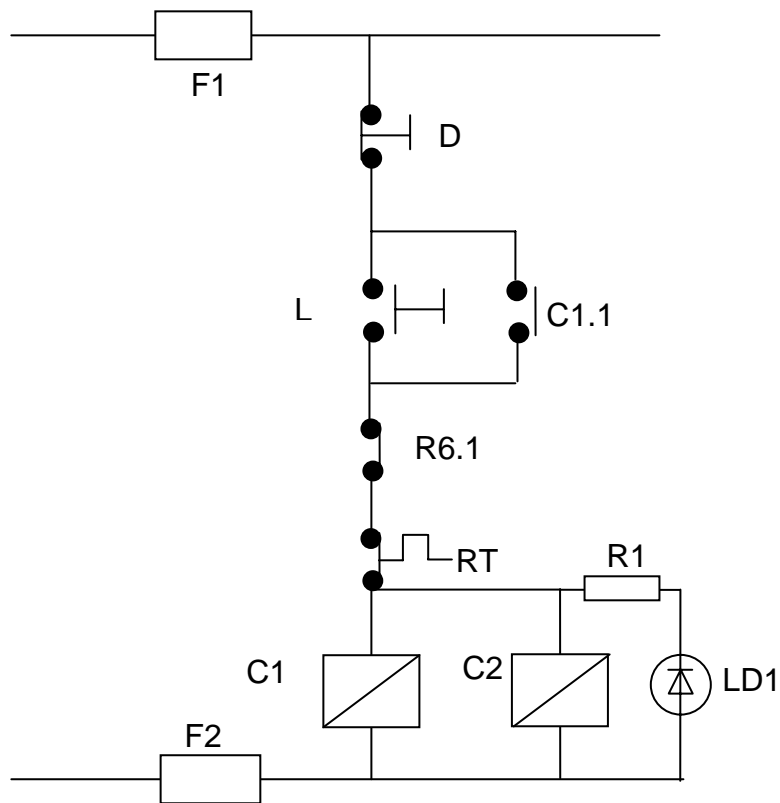


Diagrama básico de comando do demarrador industrial



Onde:

F1 e F2 – fusíveis de comando tipo diazed

D – botoeira de desliga

L – botoeira de liga

C1.1 – contato NA (Normalmente Aberto) do contator de força

C1 – bobina do contator de força

C2 – bobina do contator auxiliar

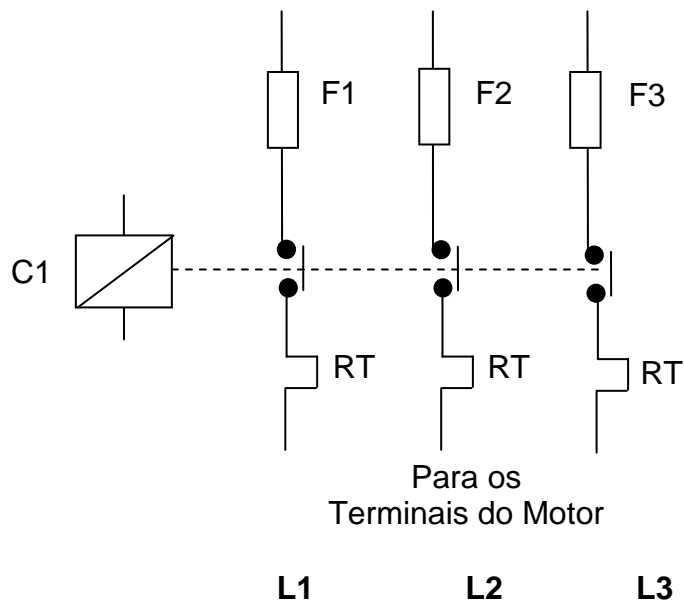
R6.1 – contato NF (Normalmente Fechado) do relé R6

RT – contato NF do relé térmico de proteção do motor

LD1 – LED de sinalização verde

R1 – Resistor de 10 kΩ

Diagrama trifilar do demarrador industrial



Onde:

F1, F2 e F3 – fusíveis de força tipo diazed

C1 – bobina do contator de força

RT – contatos NF do relé térmico de proteção do motor

Diagrama trifilar da interface de relés

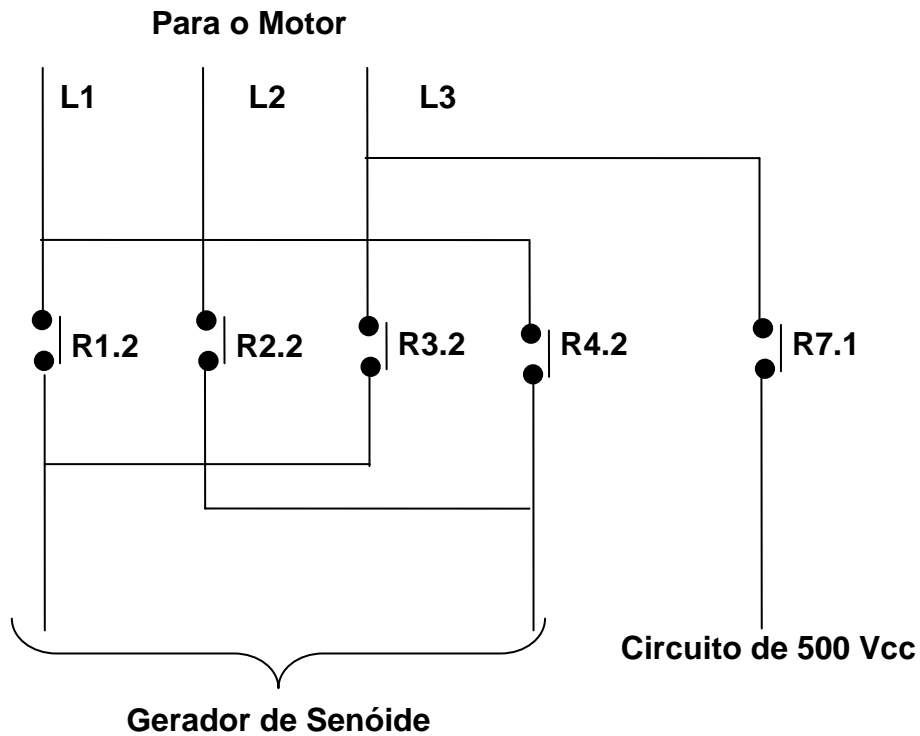
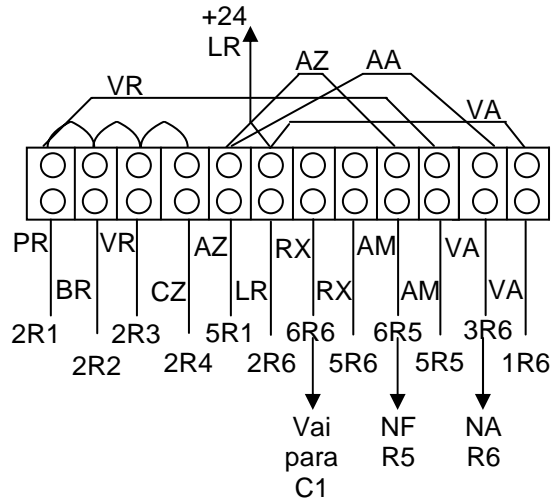


Diagrama de comando e trifilar da interface de relés – Legenda

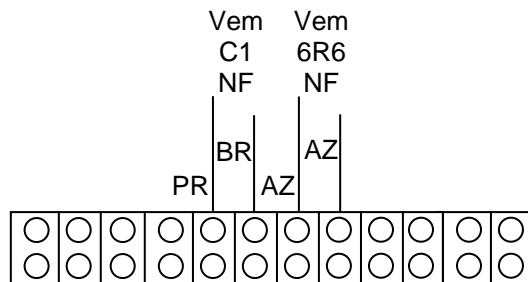
- AZ – fio azul
- BR – fio branco
- CZ – fio cinza
- LR – fio laranja
- MR – fio marrom
- PR – fio preto
- VN – fio vermelho
- VR – fio verde
- DB9 – conector que traz os comandos dos relés da placa de interface
- R1 à R6 – relés de 24 Vcc
- R1.1 à R5.1 – contatos NF dos relés R1 à R5
- R1.2 à R4.2 – contatos NA dos relés R1 à R5
- R6.2 – contato NF do relé R6
- R7.1 – contato NA do relé R7
- D1 à D6 – diodos 1N4004 para proteção das bobinas dos relés
- AO1 à AO6 – acopladores ópticos 4N25
- R1a à R6a – resistor 330 Ω limitador de corrente de entrada do acoplador óptico
- R1b à R6b – resistor 10 k Ω de polarização do transistor de saída do acoplador óptico
- R1c à R6c – resistor 3,3 k Ω limitador de corrente dos Leds de sinalização dos relés
- TR1 à TR6 – transistor TIP122 de comando das bobinas dos relés
- LD1 à LD6 – Leds de sinalização dos relés R1 à R6
- L1 à L3 – terminais de saída da caixa de interface de relés
- Números de 1 a 12 – terminais da borneira de conexão

Diagrama das borneiras

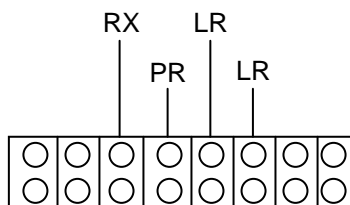
- Interface de relés – borneira interna



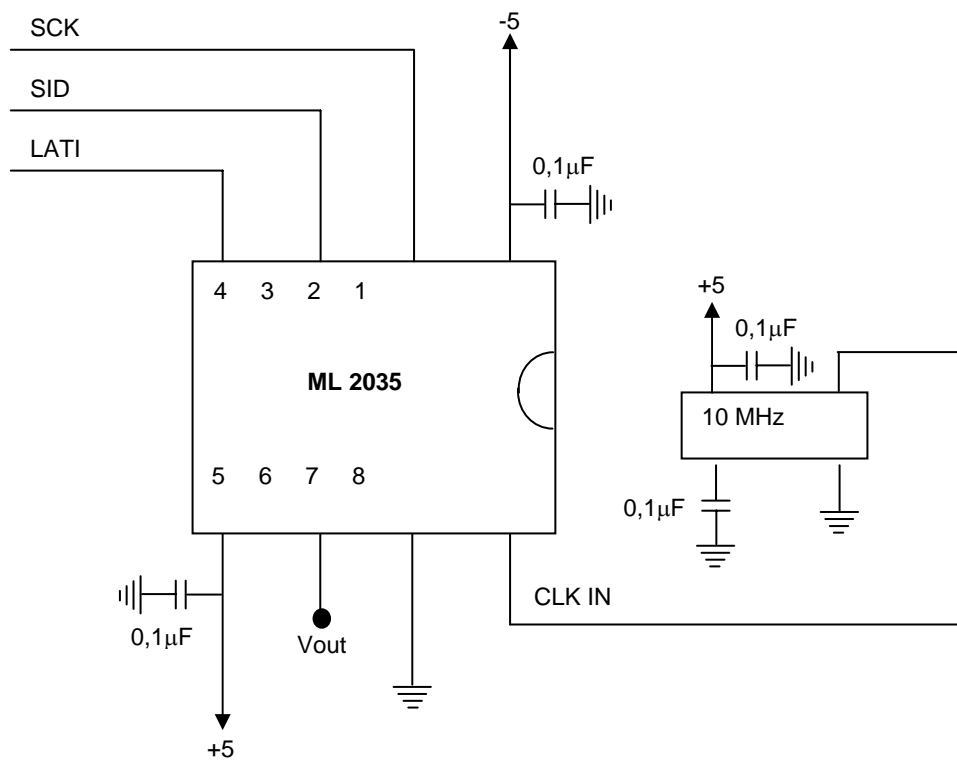
- Interface de relés – borneira externa



- Demarrador – borneira externa

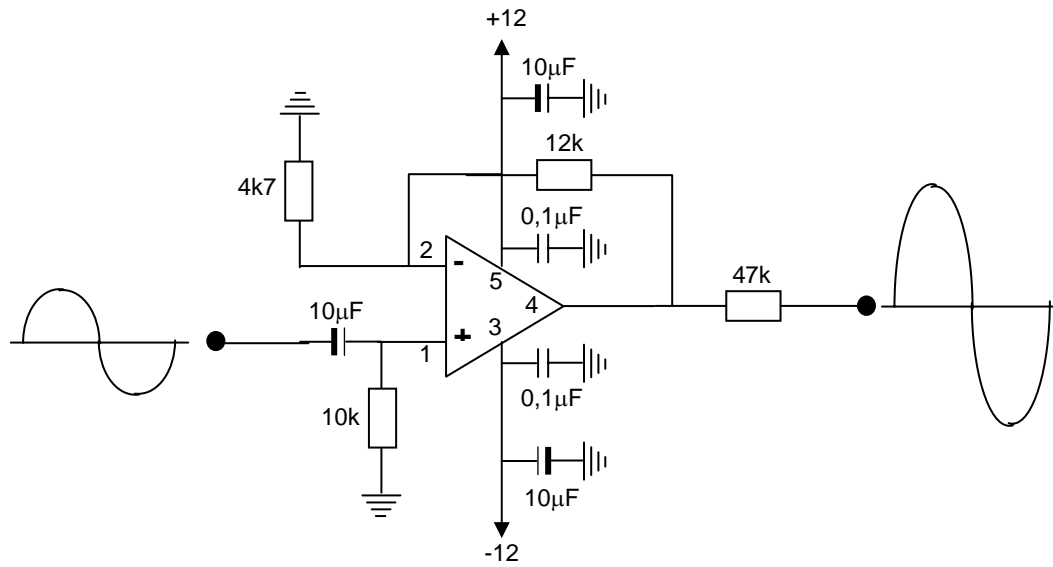


Circuito do Gerador de Senóide



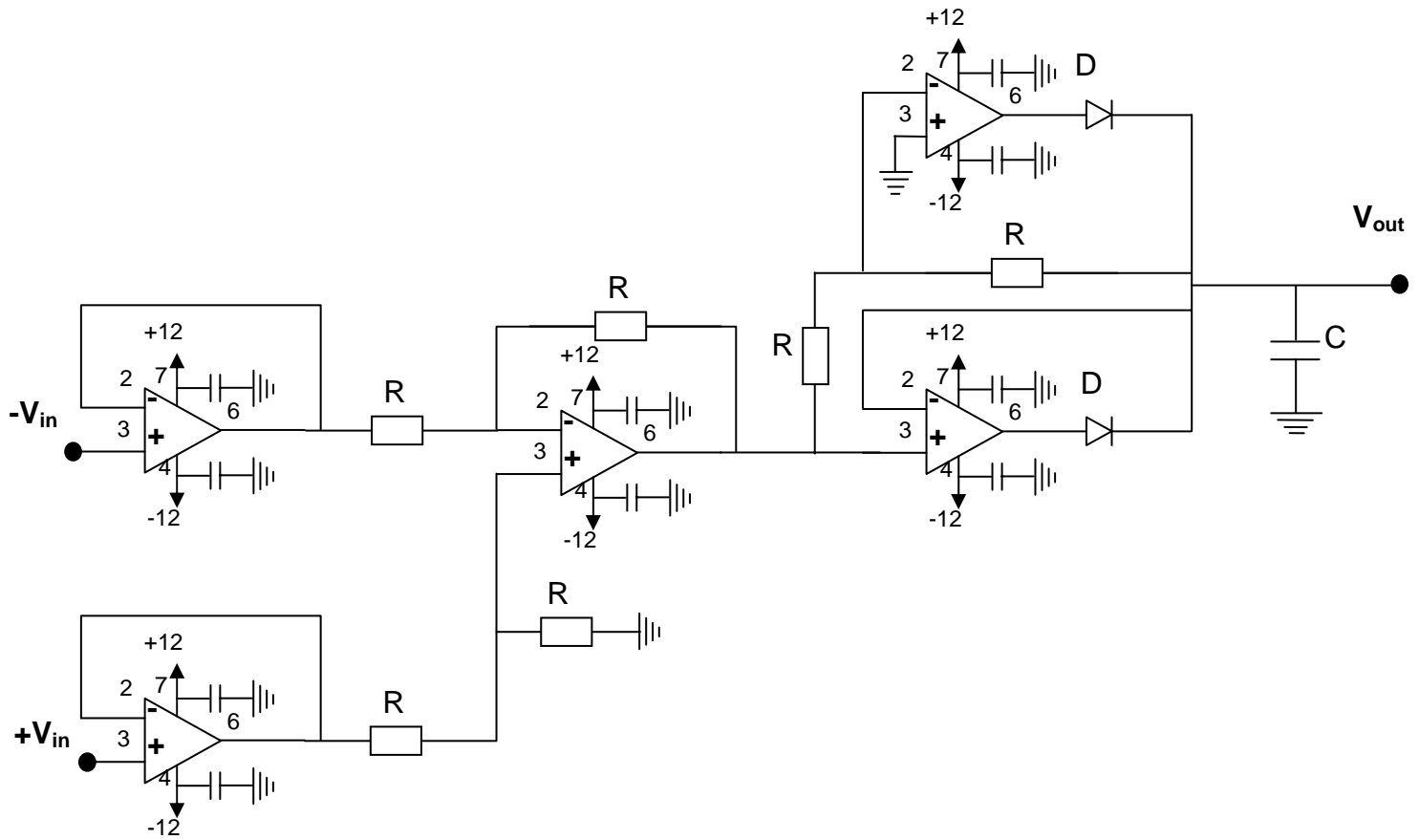
Componentes	
CI	ML 2035
Capacitores Cerâmicos	0,1 µF
Cristal	10 MHz

Circuito do Amplificador OPA544



Componentes	
Amplificador	OPA544
Capacitores Cerâmicos	0,1 µF
Capacitores Tântalo	10 µF
Resistores Valores Diversos	¼ W

Circuito de Condicionamento de Sinal - Superdiodo



Componentes	
AO – Amplificador operacional	TL071
R - resistores	4k7
C - capacitor	100 μ F
D - diodos	1N4148
c - capacitores de desacoplamento	0,1 μ F

APÊNDICE C – Os resultados dos ensaios em bancada

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Sem defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância Calculada	ΔVI	ΔVV	Impedância Calculada	ΔVI	ΔVV	Impedância Calculada
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,20912	1,555154	42,44417	1,22397	1,557962	42,0049	1,21209	1,595119	43,42822
55	1,1979	1,610865	44,37646	1,21209	1,61712	44,02723	1,19295	1,617932	44,75608
60	1,18602	1,676028	46,63406	1,20285	1,666792	45,72818	1,18503	1,656042	46,11646
65	1,17513	1,734192	48,69957	1,188	1,737	48,25	1,17084	1,718765	48,44321
75	1,15104	1,866065	53,49957	1,16688	1,85081	52,3419	1,15005	1,83608	52,68522
85	1,13091	1,960844	57,21751	1,14411	1,97219	56,88462	1,12596	1,96893	57,70604
105	1,08009	2,205184	67,375	1,09395	2,208899	66,63346	1,08108	2,190162	66,85476
125	1,03191	2,40879	77,03198	1,04511	2,417255	76,32632	1,0329	2,392768	76,44627
150	0,97416	2,633433	89,20842	0,98604	2,637107	88,25659	0,97416	2,61843	88,70021
175	0,91806	2,819184	101,3366	0,92697	2,828909	100,70874	0,91707	2,812215	101,1952
200	0,86691	2,972691	113,15917	0,87516	2,980545	112,38857	0,86592	2,966726	113,0612
250	0,7689	3,221581	138,26528	0,77616	3,235667	137,57088	0,77088	3,222498	137,94942
300	0,69399	3,391951	161,29107	0,69498	3,412902	162,05612	0,69696	3,394805	160,73888
350	0,62799	3,490944	183,44427	0,63096	3,539776	185,13471	0,62997	3,530832	184,95714
400	0,5709	3,59537	207,82487	0,57684	3,632992	207,83709	0,57684	3,625994	207,43674
450	0,52602	3,666139	229,9962	0,53097	3,707791	230,44068	0,528	3,708	231,75
500	0,48213	3,693996	252,84025	0,49302	3,763153	251,88438	0,49104	3,764307	252,9776
550	0,44814	3,77618	278,0692	0,45507	3,814587	276,61978	0,45705	3,812417	275,26477
600	0,42108	3,819726	299,35154	0,42702	3,85018	297,54098	0,42702	3,85118	297,61827
650	0,39501	3,856098	322,14684	0,40293	3,877326	317,55335	0,39897	3,881708	321,06767
700	0,37389	3,884857	342,88235	0,37884	3,903351	340,01319	0,37488	3,908749	344,08
750	0,35409	3,914995	364,86441	0,35508	3,932886	365,50986	0,35508	3,932886	365,50986
800	0,33495	3,938412	388,0209	0,33693	3,94918	386,79525	0,33495	3,943411	388,51343
850	0,31812	3,960494	410,83962	0,3201	3,96824	409,09688	0,31812	3,966496	411,46226
900	0,30294	3,974213	432,92079	0,30393	3,981083	432,25658	0,30294	3,978212	433,35644
950	0,28809	3,992247	457,30208	0,29106	3,994824	452,92784	0,28908	3,993105	455,83391
1000	0,27588	4,00026	478,5	0,27687	4,00412	477,2491	0,27588	4,003259	478,8587

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI / 33)$

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Primeiro defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,22991	1,557886	41,8	1,21902	1,521025	41,17555	1,20186	1,523823	41,84027
55	1,21011	1,607146	43,82727	1,20615	1,582197	43,28856	1,18998	1,581973	43,87059
60	1,1979	1,67586	46,16694	1,19196	1,644945	45,54111	1,1781	1,64514	46,08234
65	1,188	1,736	48,22222	1,18107	1,703101	47,58594	1,16787	1,70281	48,11558
75	1,16589	1,846826	52,27358	1,15896	1,811937	51,59275	1,14708	1,832128	52,70793
85	1,14213	1,978225	57,15762	1,13487	1,92378	55,94009	1,12893	1,94588	56,88043
105	1,09593	2,19086	65,96989	1,08702	2,147039	65,18031	1,08207	2,182141	66,54898
125	1,04709	2,400206	75,6447	1,03785	2,341662	74,45665	1,03587	2,383701	75,93822
150	0,98703	2,62008	87,59878	0,97944	2,557843	86,1807	0,97779	2,60724	87,99325
175	0,92895	2,812848	99,92357	0,92466	2,735586	97,62976	0,92334	2,789423	99,69346
200	0,87714	2,967474	111,6431	0,86955	2,8975	109,96206	0,86856	2,951864	112,15289
250	0,78408	3,201327	134,73597	0,78507	3,113278	130,86497	0,77583	3,196536	135,96493
300	0,69795	3,394757	160,5086	0,71148	3,283369	152,28985	0,70026	3,366808	158,662
350	0,64416	3,50187	179,39907	0,64878	3,414421	173,6735	0,63195	3,503168	182,93308
400	0,58212	3,612745	204,80412	0,59466	3,516355	195,13623	0,58245	3,592075	203,51699
450	0,53691	3,687382	226,63687	0,55044	3,580959	214,6858	0,53658	3,669863	225,69884
500	0,49698	3,748849	248,92757	0,51249	3,648929	234,96	0,49401	3,735319	249,52034
550	0,46497	3,794755	269,32258	0,47883	3,689231	254,25439	0,46035	3,784233	271,27119
600	0,43593	3,834384	290,26376	0,45177	3,74158	273,3075	0,43197	3,81985	291,81439
650	0,40689	3,869954	313,86486	0,42372	3,757177	292,61506	0,40557	3,854665	313,64242
700	0,38511	3,900114	334,2	0,40029	3,779906	311,61629	0,38346	3,881607	334,04538
750	0,36201	3,923108	357,62155	0,37983	3,810298	331,04238	0,36003	3,906241	358,04221
800	0,34188	3,941616	380,46491	0,36102	3,841149	351,1105	0,34089	3,929037	380,35211
850	0,32703	3,957363	399,33028	0,34584	3,863213	368,62717	0,32604	3,944274	399,21803
900	0,31086	3,972211	421,67846	0,33033	3,893354	388,94641	0,3102	3,961	421,38298
950	0,29799	3,986866	441,51342	0,31746	3,914973	406,96187	0,29634	3,971856	442,30017
1000	0,28413	4,001831	464,78873	0,30459	3,928581	425,63177	0,28281	3,989552	465,52529

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI/33)$

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Segundo defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,1979	1,531872	42,20033	1,22496	1,497951	40,35429	1,19889	1,52586	42
55	1,18701	1,595013	44,34288	1,21407	1,545089	41,99753	1,18899	1,583987	43,96299
60	1,17909	1,648126	46,12723	1,19988	1,610839	44,3025	1,17909	1,644126	46,01527
65	1,16787	1,70381	48,14384	1,188	1,671	46,41667	1,16886	1,697797	47,93328
75	1,14609	1,825143	52,55236	1,16688	1,776817	50,24936	1,1451	1,82916	52,71354
105	1,07811	2,164221	66,2449	1,09989	2,10279	63,09	1,0791	2,166201	66,24467
125	1,02993	2,369839	75,93204	1,05402	2,295044	71,85484	1,03092	2,368816	75,82638
150	0,96921	2,581293	87,88876	0,9966	2,513	83,21192	0,97284	2,593106	87,96155
175	0,91773	2,75639	99,11508	0,94677	2,681198	93,4541	0,92169	2,76497	98,99642
200	0,86262	2,922729	111,81059	0,89034	2,854487	105,80011	0,86724	2,932474	111,58575
250	0,77319	3,152551	134,55192	0,80421	3,092654	126,90414	0,77253	3,188124	136,18641
300	0,69564	3,340712	158,47779	0,76362	3,266086	141,14458	0,69696	3,365773	159,36424
350	0,6336	3,474452	180,96102	0,67782	3,3896	165,02435	0,6336	3,495	182,03125
400	0,57981	3,577445	203,61097	0,62667	3,493833	183,98277	0,5808	3,594	204,20455
450	0,53757	3,654476	224,3386	0,57717	3,587814	205,13514	0,53658	3,669179	225,65679
500	0,50028	3,717594	245,22391	0,53625	3,659341	225,19023	0,49731	3,731325	247,59952
550	0,46101	3,777082	270,37093	0,50391	3,71281	243,1441	0,46134	3,786149	270,82611
600	0,43296	3,815766	290,83583	0,47223	3,760239	262,77001	0,43098	3,82771	293,08656
650	0,40854	3,85132	311,09207	0,44517	3,799597	281,6603	0,40854	3,85549	311,42892
700	0,38379	3,880888	333,69628	0,41811	3,834175	302,61836	0,38214	3,889407	335,87281
750	0,36399	3,90382	353,92749	0,39732	3,862194	320,78027	0,363	3,910923	355,53842
800	0,34452	3,928228	376,26705	0,37455	3,889519	342,68892	0,34452	3,931087	376,54092
850	0,32769	3,944676	397,24832	0,35937	3,905587	358,63978	0,32736	3,948311	398,01527
900	0,31152	3,963254	419,83628	0,3399	3,924845	381,05294	0,31086	3,966214	421,0418
950	0,29799	3,978202	440,55388	0,32736	3,938316	397,00763	0,29733	3,981402	441,88698
1000	0,28512	3,98928	461,7222	0,31416	3,950497	414,96817	0,28314	3,995976	465,73145

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI/3)$

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Terceiro defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,23387	1,576834	42,17261	1,23585	1,559811	41,65049	1,23189	1,577859	42,26786
55	1,221	1,642	44,37838	1,22397	1,62496	43,81127	1,221	1,646	44,48649
60	1,2111	1,70014	46,32535	1,2111	1,682139	45,83485	1,20813	1,704183	46,54967
65	1,19691	1,758868	48,49373	1,19988	1,739826	47,85	1,1979	1,765853	48,64608
75	1,17612	1,881192	52,78316	1,17711	1,857174	52,06542	1,17414	1,885225	52,98552
85	1,15203	2,006052	57,46354	1,15401	1,979017	56,59185	1,15104	2,01107	57,65682
105	1,10385	2,232697	66,74728	1,10616	2,200318	65,64195	1,10286	2,238716	66,98731
125	1,05501	2,436023	76,19716	1,05699	2,395977	74,80416	1,05303	2,443069	76,56125
150	0,99297	2,663919	88,53172	0,99594	2,614843	86,64157	0,99099	2,669973	88,91019
175	0,93489	2,844665	100,41176	0,93885	2,789554	98,05112	0,9339	2,854694	100,87259
200	0,87912	3,009411	112,96587	0,88407	2,947233	110,01244	0,87714	3,014481	113,41163
250	0,77913	3,264545	138,26958	0,78705	3,193203	133,88691	0,77616	3,269674	139,01675
300	0,70785	3,422275	159,54661	0,71808	3,349373	153,9234	0,70389	3,428464	160,73438
350	0,63789	3,562386	184,2931	0,65208	3,485428	176,38804	0,63591	3,564496	184,97642
400	0,59301	3,740063	208,12816	0,60786	3,653159	198,32566	0,58905	3,731317	209,03735
450	0,54615	3,784039	228,64286	0,56496	3,706737	216,51504	0,54615	3,792041	229,12637
500	0,50688	3,838091	249,87574	0,52503	3,761215	236,40571	0,50391	3,836315	251,23214
550	0,46992	3,87934	272,42553	0,49104	3,80831	255,93483	0,46992	3,883339	272,70638
600	0,43989	3,91802	293,925	0,46002	3,847167	275,98043	0,43791	3,916195	295,11644
650	0,41184	3,946467	316,2233	0,43296	3,880641	295,7806	0,41085	3,948558	317,15328
700	0,38709	3,977925	339,12403	0,40887	3,909757	315,55746	0,38511	3,976136	340,71429
750	0,36597	3,996672	360,38525	0,38808	3,936812	334,76289	0,36597	3,997672	360,47541
800	0,34815	4,018731	380,92241	0,36894	3,957356	353,96748	0,34584	4,014143	383,0289
850	0,33099	4,031878	401,98187	0,3531	3,978127	371,78754	0,33099	4,032878	402,08157
900	0,31614	4,048793	422,62975	0,33693	3,99317	391,10386	0,31515	4,047927	423,86667
950	0,30096	4,058461	445,00664	0,32307	4,008869	409,48607	0,30096	4,05946	445,11628
1000	0,28809	4,072272	466,46875	0,30888	4,021438	429,64078	0,2871	4,072418	468,09408

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI/33)$

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Quarto defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,25103	1,567038	41,33573	1,26687	1,507845	39,27703	1,24905	1,576063	41,63971
55	1,23816	1,619209	43,1559	1,254	1,555	40,92105	1,24014	1,632184	43,43226
60	1,22694	1,682918	45,26406	1,24014	1,613182	42,92661	1,22397	1,689959	45,56373
65	1,21011	1,736158	47,34545	1,22694	1,663919	44,75306	1,21209	1,75113	47,67574
75	1,18701	1,870016	51,98821	1,19889	1,778837	48,9633	1,18206	1,878095	52,43147
85	1,16094	1,980897	56,30749	1,17909	1,889144	52,87277	1,15995	1,995914	56,78276
105	1,11408	2,206158	65,34829	1,13916	2,105296	60,98771	1,11408	2,22416	65,88151
125	1,06986	2,414684	74,48131	1,09593	2,294854	69,10128	1,0659	2,424773	75,07036
150	1,00815	2,649394	86,72321	1,03884	2,514613	79,87969	1,00386	2,657629	87,36454
175	0,95106	2,835179	98,37539	0,98604	2,696109	90,23124	0,9471	2,8463	99,17423
200	0,89694	2,9958	110,22074	0,93588	2,854634	100,65705	0,89199	3,002966	111,09753
250	0,80586	3,236438	132,53226	0,85008	3,099292	120,31412	0,8019	3,241596	133,399
300	0,72006	3,434286	157,39167	0,76593	3,306698	142,46867	0,71511	3,439529	158,72308
350	0,65505	3,560272	179,35878	0,7029	3,44151	161,57326	0,65208	3,567438	180,53834
400	0,59895	3,664694	201,91152	0,64614	3,561772	181,90867	0,59499	3,669938	203,54622
450	0,55209	3,74461	223,82609	0,59895	3,648695	201,03005	0,55011	3,747749	224,82
500	0,50985	3,808879	246,52941	0,55506	3,724403	221,42703	0,50589	3,810172	248,54348
550	0,47388	3,858023	268,66456	0,5181	3,78173	240,87452	0,4719	3,860182	269,9428
600	0,44385	3,899682	289,93919	0,48609	3,830709	260,06173	0,44088	3,900938	291,98639
650	0,41613	3,935229	312,07212	0,45804	3,869338	278,77074	0,41514	3,936327	312,90361
700	0,39303	3,962302	332,68702	0,43197	3,901729	298,06944	0,39105	3,963507	334,47315
750	0,3729	3,982932	352,47185	0,41085	3,927566	315,46715	0,37092	3,984141	354,46092
800	0,35211	4,008252	375,65625	0,38907	3,955712	335,51414	0,35013	4,008488	377,80286
850	0,33495	4,0214	396,19701	0,37092	3,974143	353,57143	0,33396	4,022518	397,48204
900	0,3201	4,038262	416,31563	0,35409	3,993015	372,13559	0,31812	4,038523	418,93396
950	0,30492	4,046938	437,98033	0,33792	4,006052	391,21598	0,30393	4,049067	439,63816
1000	0,29205	4,061695	458,94863	0,32307	4,022872	410,91641	0,29007	4,06198	462,11379

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI/33)$

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Quinto defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,27908	1,474092	38,03127	1,41405	1,097039	25,60184	1,27611	1,478127	38,22414
55	1,25796	1,513952	39,71542	1,39491	1,130927	26,75484	1,25697	1,519964	39,90453
60	1,25598	1,596974	41,95939	1,38897	1,179975	28,03456	1,25598	1,605974	42,19586
65	1,23684	1,654786	44,15117	1,38006	1,248054	29,84348	1,23486	1,661812	44,40972
75	1,22694	1,771913	47,6577	1,37511	1,345108	32,28	1,22397	1,778957	47,96324
85	1,19889	1,875828	51,63303	1,35201	1,43201	34,95266	1,19592	1,882874	51,95569
105	1,15797	2,111945	60,18653	1,32495	1,636938	40,77057	1,15599	2,120982	60,54758
125	1,10814	2,308292	68,74007	1,28403	1,814043	46,6215	1,10385	2,316685	69,25815
150	1,04907	2,562171	80,59676	1,23915	2,052248	54,65375	1,04511	2,56827	81,09474
175	0,98802	2,750056	91,85223	1,18899	2,241981	62,2254	0,98505	2,75014	92,13198
200	0,93687	2,917595	102,76841	1,14411	2,417232	69,72115	0,93489	2,922656	103,16471
250	0,83688	3,178544	125,33692	1,05105	2,710129	85,09039	0,83391	3,182656	125,94604
300	0,75108	3,388361	148,8735	0,9669	2,960694	101,04757	0,74811	3,390498	149,55882
350	0,69102	3,505101	167,38784	0,90387	3,111552	113,60177	0,68805	3,505255	168,11773
400	0,63096	3,62177	189,42314	0,83886	3,268455	128,57807	0,62898	3,622885	190,0779
450	0,58509	3,697569	208,54872	0,78606	3,374258	141,65649	0,58311	3,697698	209,26415
500	0,54186	3,770026	229,59963	0,7359	3,478527	155,98777	0,53988	3,770162	230,45
550	0,50391	3,822317	250,31548	0,69102	3,557103	169,8712	0,50193	3,822467	251,31275
600	0,46992	3,873341	272,00426	0,64812	3,633673	185,01389	0,46893	3,873422	272,58422
650	0,44187	3,904851	291,62443	0,61611	3,683658	197,30357	0,44187	3,904851	291,62443
700	0,41712	3,942134	311,8777	0,58212	3,73777	211,89175	0,41613	3,942232	312,6274
750	0,39501	3,9641	331,16962	0,55407	3,774477	224,80505	0,39402	3,964201	332,01015
800	0,37389	3,988826	352,05882	0,52602	3,815145	239,34411	0,3729	3,98893	353,00268
850	0,35607	4,008788	371,52809	0,50391	3,843314	251,69048	0,35508	4,007903	372,48169
900	0,33891	4,024931	391,9115	0,48114	3,875128	265,78378	0,33891	4,024931	391,9115
950	0,32505	4,040621	410,21538	0,46101	3,897084	278,96095	0,32505	4,040621	410,21538
1000	0,30987	4,0533	431,66129	0,44088	3,920933	293,48299	0,30888	4,053425	433,05825

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI/33)$

Levantamento de espectros de impedância

Motor-2 Sexto defeito em delta

Frequência	L ₁ L ₂			L ₂ L ₃			L ₃ L ₁		
	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância	ΔVI	ΔVV	Impedância
Hz	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms	Volts	Volts	Ohms
50	1,26786	1,464838	38,12697	1,39887	1,130895	26,67834	1,27611	1,480128	38,27586
55	1,25895	1,531939	40,15568	1,38402	1,178017	28,08815	1,26093	1,541914	40,35369
60	1,24806	1,586076	41,9375	1,37313	1,220115	29,32265	1,14807	1,592097	45,76307
65	1,24608	1,670107	44,22953	1,3761	1,292094	30,98547	1,23585	1,664798	44,45388
75	1,22397	1,791956	48,31373	1,35795	1,389949	33,77761	1,221	1,797	48,56757
85	1,20285	1,890764	51,87282	1,3431	1,47411	36,21891	1,20186	1,898779	52,13561
105	1,15698	2,125963	60,63786	1,29987	1,666833	42,31615	1,15203	2,129055	60,98698
125	1,10484	2,333662	69,70317	1,26885	1,86378	48,47281	1,10385	2,342682	70,03533
150	1,04709	2,56122	80,7192	1,221	2,076	56,10811	1,04313	2,560319	80,99712
175	0,99	2,753	91,76667	1,17084	2,261691	63,74552	0,98604	2,754112	92,17241
200	0,93588	2,917626	102,87821	1,12695	2,440892	71,4756	0,93291	2,922718	103,38585
250	0,83886	3,167471	124,60548	1,03785	2,716607	86,37861	0,83787	3,172508	124,95107
300	0,76296	3,350824	144,93185	0,96393	2,936787	100,54046	0,76098	3,42691	148,60841
350	0,69993	3,569643	168,3	0,90189	3,190611	116,7439	0,69894	3,576693	168,87124
400	0,64416	3,667911	187,90528	0,83886	3,318446	130,5447	0,63987	3,661256	188,82188
450	0,5841	3,746641	211,67466	0,77385	3,436334	146,53876	0,5841	3,753643	212,07021
500	0,54615	3,808046	230,09341	0,72798	3,520903	159,60577	0,54384	3,800882	230,63603
550	0,50688	3,850088	250,6568	0,6831	3,596526	173,74524	0,50589	3,854162	251,41304
600	0,4719	3,900174	272,73941	0,63888	3,666311	189,37559	0,46992	3,898336	273,75957
650	0,44385	3,928672	292,09459	0,6039	3,716385	203,08113	0,44286	3,929758	292,82844
700	0,41811	3,962042	312,71053	0,57189	3,762276	217,09615	0,41613	3,960237	314,05529
750	0,39501	3,983101	332,75696	0,54384	3,800882	230,63603	0,39501	3,984101	332,84051
800	0,37488	4,003718	352,44	0,5181	3,83574	244,31467	0,37389	4,001823	353,20588
850	0,35706	4,024676	371,96639	0,49401	3,869078	258,45547	0,35607	4,024791	373,01124
900	0,3399	4,038812	392,11765	0,47289	3,893094	271,67442	0,33891	4,037928	393,17699
950	0,32505	4,052623	411,43385	0,45309	3,917778	285,34437	0,32406	4,053751	412,80556
1000	0,30987	4,063295	432,72581	0,43395	3,936546	299,35714	0,30888	4,062422	434,01942

LEGENDA	
ΔVI	Queda de tensão para medir a corrente
ΔVV	Queda de tensão no bobinado
Impedância	$Z = \Delta VV / (\Delta VI/33)$

APÊNDICE D – Listagem do código

VERSION 5.00

Begin VB.Form Form1

Caption = "Aquisição de Dados de Motor "

Attribute VB_Name = "Form1"

Attribute VB_GlobalNameSpace = False

Attribute VB_Creatable = False

Attribute VB_PredeclaredId = True

Attribute VB_Exposed = False

Dim StatusMotor As Integer

Dim StatusPorta As Integer

Dim estado As Boolean

Dim desvio

Dim TemIsol As Integer

' ESTADO DO PROGRAMA

' 1 MEDINDO

' 0 PARADO

Rem ##### INICIO #####

Private Sub Command1_Click()

Tiinicio = 0

Tiinicio = Timer

Line4: 'Inicia Processo de Medição

Label17.Visible = False

Label42.Visible = False

Label43.Visible = False

Label44.Visible = False

Label45.Visible = False

Shape4.Visible = False

Label18.Visible = False

Shape5.Visible = False

Check1.Enabled = False

Label33.Visible = False

Label34.Visible = False

If Check1.Value = 1 Then

 TemIsol = 100

Else

 TemIsol = 60

End If

'Label15.Visible = True

Label15.Caption = TemIsol

Label30.Visible = True

Label31.Visible = True

Label40.Visible = True

Label41.Visible = True

Label41.Caption = "Timer"

Shape6.Visible = True

slowDown1 1

Command1.Enabled = False

Module2.TAG = (Text1.Text)

Text1.Visible = False

Label29.Visible = True

Label29.Caption = (Text1.Text)

Shape6.Visible = True

Label30.Visible = True

Label40.Visible = True
Shape6.Visible = True
Label31.Visible = True
Label41.Visible = True

Rem ##### Status do Motor #####

PortOut end1, 4 ' Ativa C do 138 -> Y4 -> ENT2 244

PortOut end3, 4: PortOut end3, 0 '

StatusMotor = (PortIn(end2) And 120) - 112

Label15.Caption = StatusMotor

If StatusMotor = 8 Then

Label12.Caption = "Motor Parado"

Shape1.Visible = True

Line6.Visible = False

Shape3.BorderColor = &H0&

slowDown 1

Label12.Caption = "Iniciando Sistema"

Label30.Caption = "Iniciando Sistema"

Label40.Caption = "0"

slowDown 1

Else

GoTo Line1

End If

Rem ##### Relé R6 de Intertravamento #####

PortOut end1, R6

PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274

Label12.Caption = "Intertravamento-R6"

StatusPorta = PortIn(end1) 'Provisório para teste

Label15.Caption = StatusPorta 'Provisório para teste

Label30.Caption = "Relé R6 de Intertravamento"

Rem ##### Medição de Impedância #####

Label13.Caption = "Medição Impedida"

Label12.Caption = "Motor Parado"

Label14.Caption = "Inicando Medição"

Label30.Caption = "Medindo Impedância"

Label5.Visible = True

Label23.Visible = True

Label24.Visible = True

Label25.Visible = True

Label26.Visible = True

Label27.Visible = True

Label28.Visible = True

Label36.Visible = True

Label37.Visible = True

Label38.Visible = True

Label38.Visible = True

Label39.Visible = True

slowDown 1

Rem ##### R1 e R2 energizados #####

Label14.Caption = "ZL1L2"

Image2.Visible = True

Frame1.ForeColor = &HFF&

PortOut end1, (R6 Or R1 Or R2) ' Manter R6, R1 e R2

PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274

Label30.Caption = "Medindo Impedância ZL1L2"


```

Rem ##### Medir_Imp_Z12 - Chamar Subrotinas #####
Apaga_Gerador
clr_adc12
J = 0
For iu = Varlu To 502 Step Varlu
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
Label20.Caption = iu
J = J + 1 'J é Linha
Linha = J
Coluna = 1
X = (2 * iu)
If X > 65535 Then
X = 65535
End If
Freq(J) = Int((X + 1) * 1.197)
Label23.Visible = True
Label28.Visible = True
Label24.Visible = True
Label25.Visible = True
Label26.Visible = True
Label27.Visible = True
  For a = 1 To 16
q = Int(X / 2)
r = X - 2 * q
L(a) = r
Label21.Caption = L(a)
X = q
PortOut end1, 2 ^ L(a)
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 2 ^ L(a) + 1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 0
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
  Next a
PortOut end1, 0
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 4
slowDown 0.1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 0
slowDown 0.1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
leradc12 1, 1, Linha, Coluna
Label28.Caption = Freq(Linha)
Tensao(Linha, Coluna) = (0.01602 * (res12i(Linha, Coluna)) - 1.4596) 'V
Label24.Caption = Format(Tensao(Linha, Coluna), "##.##")
Corrente(Linha, Coluna) = (1000 * (0.00174 * res1i(Linha, Coluna) - 0.0106)) / 8.5
Label25.Caption = Format(Corrente(Linha, Coluna), "###.##")
Impedancia(Linha, Coluna) = 1000 * Tensao(Linha, Coluna) / Corrente(Linha, Coluna) 'Ohm
Label36.Caption = Format(Impedancia(Linha, Coluna), "####.##")
slowDown 1
Next iu
salvar_temp_ADC12 Linha, Coluna
slowDown 1
Apaga_Gerador

```

Image2.Visible = False

Rem ##### R2 e R3 energizados #####

Label14.Caption = "ZL2L3"

Label24.Caption = " "

Label25.Caption = " "

Label28.Caption = " "

Label36.Caption = " "

Image3.Visible = True

PortOut end1, (R6 Or R2 Or R3) ' Manter R6, R2 e R3

PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274

slowDown 2

Label30.Caption = "Medindo Impedância ZL2L3"

Rem ##### Medir_Imp_Z23 - Chamar Subrotina #####

Apaga_Gerador

clr_adc12

J = 0

For iu = Varlu To 502 Step Varlu

Label20.Caption = iu

Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)

J = J + 1 ' J é Linha

Linha = J

Coluna = 2

X = (2 * iu)

If X > 65535 Then

X = 65535

End If

Freq(J) = Int((X + 1) * 1.197)

For a = 1 To 16

q = Int(X / 2)

r = X - 2 * q

L(a) = r

Label21.Caption = L(a)

X = q

PortOut end1, 2 ^ L(a)

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374

slowDown 0.1

PortOut end1, 2 ^ L(a) + 1

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374

slowDown 0.1

PortOut end1, 0

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374

Next a

PortOut end1, 0

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374

slowDown 0.1

PortOut end1, 4

slowDown 0.1

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374

slowDown 0.1

PortOut end1, 0

slowDown 0.1

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374

leradc12 1, 1, Linha, Coluna

Label28.Caption = Freq(Linha)

```

Tensao(Linha, Coluna) = (0.01602 * (res12i(Linha, Coluna)) - 1.4596) 'V
Label24.Caption = Format(Tensao(Linha, Coluna), "##.###")
Corrente(Linha, Coluna) = (1000 * (0.00174 * res1i(Linha, Coluna) - 0.0106)) / 8.5
Label25.Caption = Format(Corrente(Linha, Coluna), "###.###")
Impedancia(Linha, Coluna) = 1000 * Tensao(Linha, Coluna) / Corrente(Linha, Coluna) 'Ohm
Label36.Caption = Format(Impedancia(Linha, Coluna), "####.###")
slowDown 1
Next iu

```

```

salvar_temp_ADC12 Linha, Coluna
Apaga_Gerador
Image3.Visible = False

```

```

Rem ##### R3 e R4 energizados #####
Label14.Caption = "ZL3L1"
Label24.Caption = " "
Label25.Caption = " "
Label28.Caption = " "
Label36.Caption = " "
Image4.Visible = True
PortOut end1, (R6 Or R3 Or R4) ' Manter R6, R3 e R4
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274
slowDown 1
Label30.Caption = "Medindo Impedância ZL3L1"

```

```

Rem ##### Medir_Imp_Z31 - Chamar Subrotina #####
Apaga_Gerador
clr_adc12
J = 0
For iu = Varlu To 502 Step Varlu
Label20.Caption = iu
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
J = J + 1 'J é Linha
Linha = J
Coluna = 3
X = (2 * iu)
If X > 65535 Then
X = 65535
End If
Freq(J) = Int((X + 1) * 1.197)
  For a = 1 To 16
q = Int(X / 2)
r = X - 2 * q
L(a) = r
Label21.Caption = L(a)
X = q
PortOut end1, 2 ^ L(a)
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
'Label22.Caption = PortIn(end1)
  slowDown 0.1
PortOut end1, 2 ^ L(a) + 1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
  slowDown 0.1
PortOut end1, 0
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
  Next a
PortOut end1, 0
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
  slowDown 0.1
PortOut end1, 4

```

```

slowDown 0.1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 0
slowDown 0.1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
leradc12 1, 1, Linha, Coluna
Label28.Caption = Freq(Linha)
Tensao(Linha, Coluna) = (0.01602 * (res12i(Linha, Coluna)) - 1.4596) 'V
Label24.Caption = Format(Tensao(Linha, Coluna), "##.##")
Corrente(Linha, Coluna) = (1000 * (0.00174 * res1i(Linha, Coluna) - 0.0106)) / 8.5
Label25.Caption = Format(Corrente(Linha, Coluna), "###.##")
Impedancia(Linha, Coluna) = 1000 * Tensao(Linha, Coluna) / Corrente(Linha, Coluna) 'Ohm
Label36.Caption = Format(Impedancia(Linha, Coluna), "####.##")
slowDown 1
Next iu

```

```

salvar_temp_ADC12 Linha, Coluna
Salvar_ADC12
Apaga_Gerador
Image4.Visible = False
Frame1.ForeColor = &H0&
Label14.Caption = "Medição Concluída"
Label36.Caption = " "
Label23.Visible = False
Label28.Visible = False
Label24.Visible = False
Label25.Visible = False
Label26.Visible = False
Label27.Visible = False
slowDown 1
Label30.Caption = "Calculando Desvio de Impedância"

```

'Desvio de Impedância

```

If Impedancia(2, 1) > Impedancia(2, 2) Then
    If Impedancia(2, 1) > Impedancia(2, 3) Then
        If Impedancia(2, 2) > Impedancia(2, 3) Then
            Minimp = (Impedancia(2, 3))
            Maximp = (Impedancia(2, 1))
            GoTo Line11
        Else
            Maximp = (Impedancia(2, 1))
            Minimp = (Impedancia(2, 2))
            GoTo Line11
        End If
    ElseIf Impedancia(2, 2) > Impedancia(2, 3) Then
        Maximp = (Impedancia(2, 2))
        Minimp = (Impedancia(2, 3))
        GoTo Line11
    Else
        Maximp = (Impedancia(2, 3))
        Minimp = (Impedancia(2, 2))
        GoTo Line11
    End If
ElseIf Impedancia(2, 1) > Impedancia(2, 3) Then
    Maximp = (Impedancia(2, 2))
    Minimp = (Impedancia(2, 3))
    GoTo Line11
ElseIf Impedancia(2, 2) > Impedancia(2, 3) Then

```

```

        Maximp = (Impedancia(2, 2))
        Minimp = (Impedancia(2, 1))
        GoTo Line11
    Else
        Maximp = (Impedancia(2, 3))
        Minimp = (Impedancia(2, 1))
        GoTo Line11
    End If
Line11:
    Medimp = ((Impedancia(2, 1) + Impedancia(2, 2) + Impedancia(2, 3)) / 3)
    Desimp = Format((100 * (Maximp - Minimp) / Medimp), "Fixed")

Rem ##### CLASSIFICAÇÃO DO DESVIO #####
desvio = Desimp
Label18.Visible = True
Label42.Visible = True
Label44.Visible = True
Shape5.Visible = True
Label33.Visible = True
If desvio < 3 Then
    Label18.Caption = "NORMAL - Valor do Desvio Inferior ao Máximo"
    Label18.ForeColor = &H8000&
Elseif desvio < 5 And desvio >= 3 Then
    Label18.Caption = "ALARME - Valor do Desvio Próximo ao Máximo"
    Label18.ForeColor = &H404040
Elseif desvio >= 5 Then
    Label18.Caption = "PERIGO - Valor do Desvio Superior ao Máximo"
    Label18.ForeColor = &HFF&
End If
Label14.Caption = Str(desvio)
Label42.Caption = Str(desvio)
slowDown 2
PortOut end1, (R6) ' Manter R6
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274
Apaga_Gerador
res1i(Linha, Coluna) = 0
res12i(Linha, Coluna) = 0

Rem ##### RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO #####
' Medição de Resistência de Isolamento - Relé R5
Label13.Caption = "Inicando Medição"
Label30.Caption = "Inicando Medição"
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
PortOut end1, (R6 Or R5) ' Manter R6 e R5
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274
slowDown 1
Label13.Caption = "Aplicando 500Vcc" 'R5 energizado
Label30.Caption = "Medindo a Resistência de Isolamento - Aplicando 500Vcc"
Label14.Caption = "Medição Impedida"
Label5.Visible = False
Label23.Visible = False
Label24.Visible = False
Label25.Visible = False
Label26.Visible = False
Label27.Visible = False
Label28.Visible = False
Label36.Visible = False
Label37.Visible = False
Label38.Visible = False
Label38.Visible = False

```

```
Label39.Visible = False
Frame2.ForeColor = &HFF&
Image1.Visible = True
Image6.Visible = True
Label40.Visible = False
Label41.Caption = "T. Restante"
slowDown1 60 'TemIsol
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
```

```
Rem ##### Energizar Relé de Medição #####
```

```
PortOut end1, (R6 Or R5 Or 128)
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 17pp 4o. 274
```

```
Rem ##### Chamar Limpar e Ler_ADC1 #####
```

```
clr_adc12
res1 = 0
res12 = 0
For tt = 1 To 2
PortOut end1, (R6 Or R5 Or 128)
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 17pp 4o. 274
Label13.Caption = "Lendo Valores"
Label30.Caption = "Lendo Valores de Resistência de Isolamento"
ler_adcRisol1
slowDown 3
Next tt
```

```
Rem ##### Calcular Resistência de Isolamento #####
```

```
Risol = Int(3202 * (1 / res12 ^ 1.0658))
If Risol < 3202 Then
Label13.Caption = Risol
Else
Label13.Caption = "Infinito"
End If
Salvar_temp_ADC1
slowDown 1
Salvar_ADC1
Label40.Visible = True
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
```

```
Rem ##### Liberar Relé de Medição e R5 #####
```

```
PortOut end1, 1 'Verificar valor
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 17pp 4o. 274
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
```

```
Rem ##### Avaliação da Risol #####
```

```
Label34.Visible = True
If Risol < 5 Then
Label17.Visible = True
Label43.Visible = True
Label43.Caption = Risol
Label45.Visible = True
Shape4.Visible = True
Label17.ForeColor = &HFF&
Label17.Caption = "PERIGO - Resistência de Isolamento Abaixo do Valor Mínimo, conforme
IEEE-std-43/2000."
GoTo Line3: 'Fim do Teste Isolação
Elseif Risol >= 5 And Risol <= 10 Then
```

```

Label17.Visible = True
Label43.Visible = True
Label43.Caption = Risol
Label45.Visible = True
Shape4.Visible = True
Label17.ForeColor = &H0&
Label17.Caption = "BOM - Resistência de Isolamento Superior ao Valor Mínimo, conforme
IEEE-std-43/2000."
Label17.ForeColor = &H0&
GoTo Line3: 'Fim do Teste Isolação
Else
Label17.Visible = True
Label43.Visible = True
Label45.Visible = True
If Risol < 3202 Then
Label43.Caption = Risol
Else
Label43.Caption = "Infinito"
End If
Shape4.Visible = True
Label17.Caption = "EXCELENTE - Resistência de Isolamento Muito Superior ao Valor Mínimo,
conforme IEEE-std-43/2000."
Label17.ForeColor = &HC000&
End If

```

```

Line3: 'Fim do Teste Isolação
Image1.Visible = False
Image6.Visible = False
Frame2.ForeColor = &H0&

```

```

Rem ##### Liberação do Motor #####
PortOut end1, 0 'Relé R6 liberado
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274
Label12.ForeColor = &H8000012
Label12.Caption = "Descarregando"
Label30.Caption = "Descarregando Motor"
Label40.Visible = False
Label41.Caption = "T. Restante"
slowDown1 60 'Rever para 60
Label40.Visible = True
Label12.Caption = "Motor Liberado"
Label30.Caption = "Liberando Motor"
Label14.Caption = " "
Label13.Caption = " "
Shape1.Visible = False
Shape2.Visible = True
GoTo Line5 'Para novo ciclo
slowDown 2
GoTo Line1 'Para nova Tentativa
Line1: "Para nova Tentativa
Shape3.BorderColor = &HFF&
Line6.Visible = True
Line6.BorderColor = &HFF&
Label12.Caption = "Motor Rodando"
slowDown 2
Label12.Caption = "Nova Tentativa-15 min"
Line2: 'Nova Tentativa
Command1.Enabled = True

```

'NOVA TENTATIVA EM 15 MINUTOS

```
Dim lastmed As Date
Dim Intervalo As Integer
lastmed = Now
Intervalo = 15
```

```
Do While DateDiff("m", lastmed, Now) < Intervalo 'para 15 minutos
DoEvents
Loop
Label12.Caption = "Nova Tentativa"
slowDown 2
GoTo Line4
```

```
'NOVA MEDIÇÃO COM 30 DIAS
Line5: 'Para novo ciclo de Medição
lastmed = Now
Intervalo = 30
Do While DateDiff("d", lastmed, Now) < Intervalo ' para 30 dias
DoEvents
Loop
Label12.Caption = "NOVA MEDIÇÃO"
Label13.Caption = " "
Label14.Caption = " "
slowDown 2
GoTo Line4
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
PortOut end1, 0 'Limpar Porta
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0
End
estado = False
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
Form2.Show
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
end1 = 888 'Dados
end2 = 889 'Status
end3 = 890 'Controle
```

```
PortOut end1, 0 'Relé R6 liberado
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 14pp 2o. 274
Command3.Enabled = False
End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()
'Tempsol = 3600
End Sub
```

```
Rem ##### slowDown1 #####
```

```
Public Sub slowDown1(iitime As Integer)
Dim Tiinicio&
Tiinicio = Timer
Label35.Visible = True
Do While Not Timer >= Tiinicio + iitime
Label35.Caption = iitime - Int(Timer - Tiinicio)
DoEvents
```



```

Loop
Label32.Visible = False
Label35.Visible = False
Shape31.Visible = False
End Sub

Rem ##### LER ADCRISOL #####

Public Sub ler_adcRisol1()
Med1 = 0
Med2 = 0

For ii = 1 To 5
Label41.Caption = "Timer"
Label40.Visible = True
Label40.Caption = Int(Timer - Tiinicio)
PortOut end1, (R6 Or R5 Or 128)
PortOut end3, 2: slowDown 1: PortOut end3, 0 'CLK pino 17pp 4o. 274
        PortOut end1, 240
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

'Rem *****inicio da conversao*****
        PortOut end1, 0
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

'Rem *****final da conversao*****

'Rem *****desliga o adc2*****
        PortOut end1, 16
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4
        PortOut end1, 64
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4
]
'Rem *****Leitura ADC1*****

        PortOut end1, 144
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

        For f = 1 To 3
        PortOut end1, f
        slowDown 0.01
        M(f) = (PortIn(end2) And 120) / 8
        Next f
'Rem *****Leitura ADC2*****
        PortOut end1, 96
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

        For f = 1 To 3
        PortOut end1, f
        slowDown 0.01
        LL(f) = (PortIn(end2) And 120) / 8
        Next f

'Rem se existe residuo, tente delta = 7 no lugar de 128 ou 135
        PortOut end1, 0

```

```
'Rem *****Fim da aquisicao, preparacao do resultado*****
```

```
    If M(3) > 7 Then rest1 = -2047 Else rest1 = 2047
```

```
    If LL(3) > 7 Then rest2 = -2047 Else rest2 = 2047
```

```
    rres1 = (Int((((M(1)) + 16 * (M(2)) + 256 * (M(3))) + rest1))) - 2046
```

```
    rres12 = (Int((((LL(1)) + 16 * (LL(2)) + 256 * (LL(3))) + rest2))) - 2046
```

```
    If rres1 = 0 Then rres1 = 1
```

```
    If rres12 = 0 Then rres12 = 1
```

```
    Med1 = Med1 + rres1
```

```
    Med2 = Med2 + rres12
```

```
    slowDown 2
```

```
    Next ii
```

```
    res1 = Int(Med1 / 5)
```

```
    res12 = Int(Med2 / 5)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Label22.Caption = CStr(Time)
```

```
End Sub
```

VERSION 5.00

Object = "{F9043C88-F6F2-101A-A3C9-08002B2F49FB}#1.2#0";

"COMDLG32.OCX"

Begin VB.Form Form2

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
Dim ptoj(5) As Integer
```

```
Dim dado(8, 2) As Date
```

```
Dim dados(8, 2) As Double
```

```
Dim K As Integer
```

```
Dim M As Integer
```

```
Dim a As String
```

```
Dim aa As String
```

```
Dim J As Integer
```

```
Dim JJ As Integer
```

```
Dim ii As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
    CommonDialog1.Filter = "Text Files(*.txt)|*.txt"
```

```
    CommonDialog1.ShowOpen
```

```
    Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
```

```
    aa = CommonDialog1.FileName
```

```
    JJ = 1
```

```
    For ii = 1 To Len(aa)
```

```
        If Mid(aa, ii, 1) = "D" Then
```

```
            ptoj(JJ) = ii
```

```
            JJ = JJ + 1
```

```
        End If
```

```
    Next ii
```

```
    K = 1
```

```
    Do Until EOF(1)
```

```
        Line Input #1, a
```

```
        J = 1
```

```
        For i = 1 To Len(a)
```

```
            If Mid(a, i, 1) = ";" Then
```

```
                ptoj(J) = i
```

```
                J = J + 1
```

```
            End If
```

```

Next i
dado(K, 1) = Mid(a, 1, ptoj(1) - 1)
dados(K, 2) = Mid(a, ptoj(1) + 1, Len(a) - ptoj(1))
K = K + 1
Loop
Close #1
Label3.Visible = True
Label4.Visible = False
Label8.Visible = True
Label9.Visible = True
Label10.Visible = True
Label11.Visible = True
Label12.Visible = True
Label13.Visible = True
Label14.Visible = False
Label15.Visible = False
Label16.Visible = False
Graf1.Visible = False
Label3.Caption = "Última Medição de Resistência de Isolamento"
Label11.Caption = (dado(K - 1, 1))
Label12.Caption = (dados(K - 1, 2))
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
Dim ptoj(5) As Integer
Dim dado(8, 2) As Date
Dim dados(8, 2) As Double
Label3.Visible = True
Label3.Caption = "GRÁFICO"
Label5.Visible = False
Label6.Visible = False
Label8.Visible = False
Label9.Visible = False
Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Label12.Visible = False
Label13.Visible = False
Label14.Visible = False
Label4.Visible = False
Dim a As String
CommonDialog1.Filter = "Text Files(*.txt)|*.txt"
CommonDialog1.ShowOpen
Dir = CommonDialog1.FileName
Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
K = 1
Do Until EOF(1)
Line Input #1, a
J = 1
For i = 1 To Len(a)
If Mid(a, i, 1) = ";" Then
ptoj(J) = i
J = J + 1
End If
Next i
dado(K, 1) = Mid(a, 1, ptoj(1) - 1)
dados(K, 2) = Mid(a, ptoj(1) + 1, Len(a) - ptoj(1))
K = K + 1
Loop
Close #1
Graf1.Visible = True

```

```

MSChart2.Visible = True
MSChart2.chartType = 1 'barra em duas dimensões
MSChart2.ShowLegend = False 'não mostra legenda
MSChart2.Title = "Resistência de Isolamento" 'titulo do gráfico
MSChart2.ColumnCount = 1 'uma série
MSChart2.RowCount = K - 1 'número sequencia de dados
MSChart2.Visible = True
For i = 1 To (K - 1)
MSChart2.Row = i
MSChart2.RowLabel = dado(i, 1)
MSChart2.Column = 1
MSChart2.Data = dados(i, 2)
Next
End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
End Sub

```

```

Private Sub Command5_Click()
Dim ptj(5) As Integer
Dim dado(60, 3) As Double
Dim a As String
CommonDialog1.Filter = "Text Files(*.txt)|*.txt"
CommonDialog1.ShowOpen
Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
K = 1
Do Until EOF(1)
Line Input #1, a
J = 1
For i = 1 To Len(a)
If Mid(a, i, 1) = ";" Then
ptj(J) = i
J = J + 1
End If
Next i
dado(K, 1) = Mid(a, ptj(2) + 1, ptj(3) - ptj(2) - 1)
dado(K, 3) = Mid(a, ptj(4) + 1, Len(a) - ptj(4))
K = K + 1
Loop
Close #1
MSChart1.Visible = True
MSChart1.chartType = 3 'Linhas
MSChart1.ShowLegend = False ' mostra legenda
MSChart1.Title = "ESPECTRO DE IMPEDÂNCIA" 'titulo do gráfico
MSChart1.ColumnCount = 3 'uma série
MSChart1.RowCount = 20 'número sequencia de dados
MSChart1.Visible = True
For i = 1 To 20
MSChart1.Row = i
MSChart1.RowLabel = dado(i, 1)
MSChart1.Column = 1
MSChart1.Data = dado(i, 3)
MSChart1.Column = 2
MSChart1.Data = dado((i + 20), 3)
MSChart1.Column = 3
MSChart1.Data = dado((i + 40), 3)
Next
Label17.Visible = True
Label17.Caption = "ESPECTRO DE IMPEDÂNCIA"
End Sub

```

```

Private Sub Command6_Click()
CommonDialog1.Filter = "Text Files(*.txt)|*.txt"
CommonDialog1.ShowOpen
MSChart1.Visible = False
Graf2.Visible = False
Label17.Visible = True
Label17.Caption = "Desvio de Impedância"
Label22.Visible = True
Label23.Visible = True
Label24.Visible = True
Label25.Visible = True
Label26.Visible = True
Label27.Visible = True
Label18.Visible = False
Label19.Visible = False
Label20.Visible = False
Label21.Visible = False
Label12.Visible = False
Dim ptoj(5) As Integer
Dim Z(60, 3) As Double
Dim TAGfile As String
Dim DataFile As String
Dim ArquivoName As String
Dim aa As String
Dim a As String
aa = CommonDialog1.FileName
JJ = 1
  For ii = 1 To Len(aa)
    If Mid(aa, ii, 1) = "D" Then
      ptoj(JJ) = ii
      JJ = JJ + 1
    End If
  Next ii
  DataFile = Mid(aa, ptoj(1) + 1, 6)
  Label24.Caption = DataFile
  Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
  K = 1
  Do Until EOF(1)
  Line Input #1, a
  J = 1
  For i = 1 To Len(a)
    If Mid(a, i, 1) = ";" Then
      ptoj(J) = i
      J = J + 1
    End If
  Next i
  Z(K, 1) = Mid(a, 1, ptoj(1) - 1)
  Z(K, 2) = Mid(a, ptoj(1) + 1, ptoj(2) - ptoj(1) - 1)
  Z(K, 3) = Mid(a, ptoj(2) + 1, Len(a) - ptoj(3))
  i = 1
  If Z(i, 1) > Z(i, 2) Then
    If Z(i, 1) > Z(i, 3) Then
      Max(i) = Val(Z(i, 1))
      If Z(i, 2) > Z(i, 3) Then
        Min(i) = (Z(i, 3))
        Max(i) = (Z(i, 1))
        GoTo Line1
      Else
        Max(i) = (Z(i, 1))
        Min(i) = (Z(i, 2))
      End If
    Else
      Max(i) = (Z(i, 2))
      Min(i) = (Z(i, 1))
    End If
  Else
    Max(i) = (Z(i, 2))
    Min(i) = (Z(i, 3))
  End If
  Line1:
  K = K + 1
  Loop
End Sub

```

```

        GoTo Line1
    End If
    ElseIf Z(i, 2) > Z(i, 3) Then
        Max(i) = (Z(i, 2))
        Min(i) = (Z(i, 3))
        GoTo Line1
    Else
        Max(i) = (Z(i, 3))
        Min(i) = (Z(i, 2))
        GoTo Line1
    End If
    ElseIf Z(i, 1) > Z(i, 3) Then
        Max(i) = (Z(i, 2))
        Min(i) = (Z(i, 3))
        GoTo Line1
    ElseIf Z(i, 2) > Z(i, 3) Then
        Max(i) = (Z(i, 2))
        Min(i) = (Z(i, 1))
        GoTo Line1
    Else
        Max(i) = (Z(i, 3))
        Min(i) = (Z(i, 1))
        GoTo Line1
    End If
Line1:
    Med(i) = ((Z(i, 1) + Z(i, 2) + Z(i, 3)) / 3)
    Des(i) = (100 * (Max(i) - Min(i)) / Med(i))
    Label23.Caption = Format(Des(i), "###0.00")
K = K + 1
Loop
Close #1
'MÁXIMO DESVIO
End Sub

Private Sub Command7_Click()
    Dim ptj(5) As Integer
    Dim dado(20, 3) As Date
    Dim dados(20, 3) As Double
    Dim a As String
    Graf1.Visible = False
    MSChart2.Visible = False
    Label17.Visible = True
    Label17.Caption = "HISTÓRICO"
    Open "C:\Projeto franc\Tendencia_Desvio.txt" For Input As #1
    K = 1
    Do Until EOF(1)
        Line Input #1, a
        J = 1
        For i = 1 To Len(a)
            If Mid(a, i, 1) = ";" Then
                ptj(J) = i
                J = J + 1
            End If
        Next i
        dado(K, 1) = Mid(a, 1, ptj(1) - 1)
        dados(K, 2) = Mid(a, ptj(1) + 1, Len(a) - ptj(1))
        K = K + 1
    Loop
    Close #1
    MSChart1.Visible = True

```

```

Graf2.Visible = True
MSChart1.chartType = 1 'barra em duas dimensões
MSChart1.ShowLegend = False 'não mostra legenda
MSChart1.Title = "Impedância" 'título do gráfico
MSChart1.ColumnCount = 1 'duas série
MSChart1.RowCount = K - 1 'número sequencia de dados
MSChart1.Visible = True
For i = 1 To K - 1
MSChart1.Row = i
MSChart1.RowLabel = dado(i, 1)
MSChart1.Column = 1
MSChart1.Data = dados(i, 2)
'MSChart1.Column = 2
'MSChart1.Data = dado(i, 3)
Next
End Sub

```

```

Private Sub Dir1_Change()
End Sub

```

```

Private Sub Command8_Click()
'INTERFACE VISUAL
Label4.Visible = True
Label14.Visible = True
Label15.Visible = True
Label16.Visible = True
Graf1.Visible = False
Label8.Visible = False
Label9.Visible = False
Label10.Visible = False
Label11.Visible = False
Label12.Visible = False
Label13.Visible = False

```

```

'LER ARQUIVO
Dim ptj(20) As Integer
Dim datas(20) As Date
Dim dados(20) As Double
Dim i As Integer
Dim J As Integer
Dim K As Integer
Dim N As Integer
Dim a As String

```

```

Dim Intervalo(20) As Integer
CommonDialog1.Filter = "Text Files(*.txt)|*.txt"
CommonDialog1.ShowOpen
Open CommonDialog1.FileName For Input As #1
K = 1
Do Until EOF(1)
Line Input #1, a
J = 1
For i = 1 To Len(a)
If Mid(a, i, 1) = ";" Then
ptj(J) = i
J = J + 1
End If
Next i
datas(K) = Mid(a, 1, ptj(1) - 1)
dados(K) = Mid(a, ptj(1) + 1, Len(a) - ptj(1))

```

```

    K = K + 1
Loop
Close #1
'INTERVALO ENTRE DATAS
N = K - 1
For i = 1 To N
Intervalo(i) = DateDiff("d", datas(1), datas(i))
Next i

'MÍNIMOS QUADRADOS
Dim aa As Double
Dim bb As Double
Dim xx As Double
Dim somax As Double
Dim somay As Double
Dim somax2 As Double
Dim somaxy As Double
Dim Datarisolmin As Date
Dim Mediax As Double
Dim Mediy As Double
Dim somaxM As Double
Dim somax2M As Double
Dim somayM As Double
Dim somay2M As Double
Dim r As Double
Dim R2 As Double
Dim Numerador As Double
Dim Denominador As Double
Dim rr As String
somax = 0
somay = 0
somax2 = 0
somaxy = 0

For i = 1 To N
    somax = somax + Intervalo(i)
    somay = somay + dados(i)
    somax2 = somax2 + ((Intervalo(i) * Intervalo(i)))
    somaxy = somaxy + ((Intervalo(i) * dados(i)))
    J = J + 1
Next i
Mediax = somax / N
Mediy = somay / N
aa = ((N * somaxy) - somax * somay) / ((N * somax2) - (somax * somax))
bb = (((somax2) * somay) - (somaxy * somax)) / ((N * somax2) - (somax * somax))
'EQUAÇÃO
xx = (5 - bb) / aa
Datarisolmin = DateAdd("d", xx, datas(N))
Label14.Caption = Datarisolmin
'R QUADRADO
    For i = 1 To 5
Numerador = ((Intervalo(i) - Mediax) * (dados(i) - Mediy)) + Numerador
somax2M = ((Intervalo(i) - Mediax) * (Intervalo(i) - Mediax)) + somax2M
somay2M = ((dados(i) - Mediy) * (dados(i) - Mediy)) + somay2M
Denominador = Sqr(somax2M * somay2M)
    Next i
r = Numerador / Denominador
R2 = r * r
rr = Format(R2, "##0.00")
Label15.Caption = rr

```


End Sub

```
Private Sub Command9_Click()
MSChart1.Visible = False
Graf2.Visible = False
Label17.Visible = True
Label17.Caption = "Tendência do Desvio de Impedância"
Label18.Visible = True
Label19.Visible = True
Label20.Visible = True
Label21.Visible = True
Label22.Visible = False
Label23.Visible = False
Label24.Visible = False
Label25.Visible = False
Label26.Visible = False
Label27.Visible = False
Dim ptj(20) As Integer
Dim datas(20) As Date
Dim dados(20) As Double
Dim i As Integer
Dim J As Integer
Dim K As Integer
Dim N As Integer
Dim a As String
Dim Intervalo(20) As Integer
  Open "C:\Projeto franc\Tendencia_Desvio.txt" For Input As #1
  K = 1
  Do Until EOF(1)
  Line Input #1, a
  J = 1
  For i = 1 To Len(a)
    If Mid(a, i, 1) = ";" Then
      ptj(J) = i
      J = J + 1
    End If
  Next i
  datas(K) = Mid(a, 1, ptj(1) - 1)
  dados(K) = Mid(a, ptj(1) + 1, Len(a) - ptj(1))
  K = K + 1
Loop
Close #1
'INTERVALO ENTRE DATAS
N = K - 1
For i = 1 To N
Intervalo(i) = DateDiff("d", datas(1), datas(i))
Next i
'MÍNIMOS QUADRADOS
Dim aa As Double
Dim bb As Double
Dim xx As Double
Dim somax As Double
Dim somay As Double
Dim somax2 As Double
Dim somaxy As Double
Dim Datadesvio As Date
Dim Mediax As Double
Dim Mediy As Double
Dim somaxM As Double
```

```

Dim somax2M As Double
Dim somayM As Double
Dim somay2M As Double
Dim r As Double
Dim R2 As Double
Dim Numerador As Double
Dim Denominador As Double
Dim rr As String
somax = 0
somay = 0
somax2 = 0
somaxy = 0
For i = 1 To N
    somax = somax + Intervalo(i)
    somay = somay + dados(i)
    somax2 = somax2 + ((Intervalo(i) * Intervalo(i)))
    somaxy = somaxy + ((Intervalo(i) * dados(i)))
    J = J + 1
Next i
Mediax = somax / N
Mediay = somay / N
aa = ((N * somaxy) - somax * somay) / ((N * somax2) - (somax * somax))
bb = (((somax2) * somay) - (somaxy * somax)) / ((N * somax2) - (somax * somax))
'EQUAÇÃO
xx = (5 - bb) / aa
Datadesvio = DateAdd("d", xx, datas(N))
Label20.Caption = Datadesvio
'R QUADRADO
For i = 1 To 5
    Numerador = ((Intervalo(i) - Mediax) * (dados(i) - Mediay)) + Numerador
    somax2M = ((Intervalo(i) - Mediax) * (Intervalo(i) - Mediax)) + somax2M
    somay2M = ((dados(i) - Mediay) * (dados(i) - Mediay)) + somay2M
    Denominador = Sqr(somax2M * somay2M)
Next i
r = Numerador / Denominador
R2 = r * r
rr = Format(R2, "##0.00")
Label19.Caption = rr
End Sub

```

```

Private Sub Graf1_Click()
    Grafico.Show
End Sub

```

```

Private Sub MSChart1_ChartSelected(MouseFlags As Integer, Cancel As Integer)
    Graf.Show
End Sub

```

```

Private Sub MSChart1_Click()
    'Graf.Show
End Sub

```

VERSION 5.00

Object = "{02B5E320-7292-11CF-93D5-0020AF99504A}#1.0#0";
"MSCHART.OCX"

Begin VB.Form Graf1

```

Attribute VB_Name = "Graf1"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True

```

Attribute VB_Exposed = False

```
Private Sub Form_Load()  
Dim ptj(5) As Integer  
Dim dado(8, 2) As Date  
Dim dados(8, 2) As Double  
Dim a As String  
Open Dir For Input As #1  
K = 1  
Do Until EOF(1)  
Line Input #1, a  
J = 1  
For i = 1 To Len(a)  
If Mid(a, i, 1) = ";" Then  
ptj(J) = i  
J = J + 1  
End If  
Next i  
dado(K, 1) = Mid(a, 1, ptj(1) - 1)  
dados(K, 2) = Mid(a, ptj(1) + 1, Len(a) - ptj(1))  
K = K + 1  
Loop  
Close #1  
Graf1.Visible = True  
Graf1.chartType = 1 'barra em duas dimensões  
Graf1.ShowLegend = False 'não mostra legenda  
Graf1.Title = "Resistência de Isolamento" 'titulo do gráfico  
Graf1.ColumnCount = 1 'uma série  
Graf1.RowCount = K - 1 'número sequencia de dados  
Graf1.Visible = True  
For i = 1 To (K - 1)  
Graf1.Row = i  
Graf1.RowLabel = dado(i, 1)  
Graf1.Column = 1  
Graf1.Data = dados(i, 2)  
Next  
End Sub  
Private Sub Graf1_Click()  
Graf.Hide  
End Sub
```

VERSION 5.00

Object = "{02B5E320-7292-11CF-93D5-0020AF99504A}#1.0#0";

"MSCHART.OCX"

Begin VB.Form Grafico2

```
Attribute VB_Name = "Grafico2"  
Attribute VB_GlobalNameSpace = False  
Attribute VB_Creatable = False  
Attribute VB_PredeclaredId = True  
Attribute VB_Exposed = False  
Private Sub Form_Load()  
Dim ptj(5) As Integer  
Dim dado(60, 3) As Double  
Dim a As String  
Open "C:\Projeto franc\D300407H0913.txt" For Input As #1  
K = 1  
Do Until EOF(1)  
Line Input #1, a
```

```

J = 1
For i = 1 To Len(a)
    If Mid(a, i, 1) = ";" Then
        ptj(J) = i
        J = J + 1
    End If
Next i
dado(K, 1) = Mid(a, ptj(2) + 1, ptj(3) - ptj(2) - 1)
dado(K, 3) = Mid(a, ptj(4) + 1, Len(a) - ptj(4))
K = K + 1
Loop
Close #1
MSChart1.Visible = True
MSChart1.chartType = 3 'Linhas
MSChart1.ShowLegend = True ' mostra legenda
MSChart1.Title = "ESPECTRO DE IMPEDÂNCIA" 'titulo do gráfico
MSChart1.ColumnCount = 3 'uma série
MSChart1.RowCount = 20 'número sequencia de dados
MSChart1.Visible = True
For i = 1 To 20
    MSChart1.Row = i
    MSChart1.RowLabel = dado(i, 1)
    MSChart1.Column = 1
    MSChart1.Data = dado(i, 3)
    MSChart1.Column = 2
    MSChart1.Data = dado((i + 20), 3)
    MSChart1.Column = 3
    MSChart1.Data = dado((i + 40), 3)
Next
End Sub

Private Sub MSChart1_Click()
    Grafico2.Hide
End Sub

```

Attribute VB_Name = "Module1"

' DECLARA DLL DE IO PARA TRABALHAR COM WINDOWS

```

Public Declare Sub PortOut Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer, ByVal Value As Byte)
Public Declare Function PortIn Lib "io.dll" (ByVal Port As Integer) As Byte
Public Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)

```

' ENDEREÇOS DA PORTA PARALELA

```

Public end1, end2, end3 As Integer
'end1 = 888 'Dados
'end2 = 889 'Status
'end3 = 890 'Controle

```

Attribute VB_Name = "Module2"

```

Option Explicit
Public Declare Function QueryPerformanceCounter Lib "kernel32" (X As Currency) As Boolean
Public Declare Function QueryPerformanceFrequency Lib "kernel32" (X As Currency) As Boolean
Public Declare Function GetTickCount Lib "kernel32" () As Long

```

Rem ##### DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE MEDIÇÃO #####

```

Option Base 1
Public Risol As Double
Public adc1(41, 3) As Double 'Verificar se Cancelar após criar res1i(20, 3) As Double

```

```
Public adc2(41, 3) As Double 'Verificar se Cancelar após criar res12i(20, 3) As Double
Public TAG As String
Public Z(41, 3) As Double
Public StatusMotor As Double
Public iu As Integer
Public X As Integer
Public Freq(520) As Double
Public q As Integer
Public r As Double
Public L(17) As Double
Public a As Integer
Public tt As Integer
Public i As Integer
Public J As Integer
Public f As Integer
Public Linha As Integer
Public Coluna As Integer
Public M(3) As Integer
Public LL(3) As Integer
Public res As Integer
Public res2 As Integer
Public res1 As Integer
Public res1i(41, 3) As Double
Public res12 As Integer
Public res12i(41, 3) As Double
Public rest1 As Integer
Public rest2 As Integer
Public rres1 As Integer
Public rres12 As Integer
Public Med1 As Double
Public Med2 As Double
Public ii As Integer
Public Des(41) As Double
Public Med(41) As Double
Public Max(41) As Double
Public Min(41) As Double
Public Maximp As Double
Public Minimp As Double
Public Medimp As Double
Public Desimp As Double
Public Maxi As Double
Public Dir As String
Public Tensao(41, 3) As Double
Public Corrente(41, 3) As Double
Public Impedancia(41, 3) As Double
Public Frequencia(41) As Double
```

```
Rem ##### DEFINICOES DA PLACA DE ADC #####
' VALORES DAS CONSTANTES CORRESPONDE AOS PINOS
```

```
Const CS_ADC1 = 64
Const CS_ADC2 = 16
Const RC_ADC1 = 128
Const RC_ADC2 = 32
Public Const R6 = 1
Public Const R5 = 2
Public Const R1 = 4
Public Const R2 = 8
Public Const R3 = 16
Public Const R4 = 32
```

```
Public Const Varlu = 12.5
```

```
Rem ##### FUNÇÃO SLOWDOWN - CONTA TEMPO #####
```

```
Public Sub slowDown(itime As Integer)
```

```
Dim Tinicio&
```

```
Tinicio = Timer
```

```
Do While Not Timer >= Tinicio + itime
```

```
DoEvents
```

```
Loop
```

```
End Sub
```

```
Rem ##### LIMPAR ADC12 #####
```

```
Public Sub clr_adc12()
```

```
PortOut end1, CS_ADC1 Or CS_ADC2 Or RC_ADC1 Or RC_ADC2
```

```
PortOut end3, 0: PortOut end3, 4
```

```
PortOut end1, 0
```

```
PortOut end3, 0: PortOut end3, 4
```

```
End Sub
```

```
Rem ##### SALVAR TEMPORARIAMENTE ADC1 #####
```

```
Public Sub Salvar_temp_ADC1()
```

```
Dim Data As Date
```

```
Dim hora
```

```
Data = Date
```

```
hora = Time
```

```
Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\ProjetoFranc\TempRisol.txt" For Append
```

```
As #1
```

```
Print #1, Str(Data) + " ;" + Str(hora) + " ;" + Str(res12) + " ;" + Str(Risol)
```

```
Close #1
```

```
End Sub
```

```
Rem ##### SALVAR ADC1 #####
```

```
Public Sub Salvar_ADC1()
```

```
Dim temp As String
```

```
'Tirar hora do nome do arquivo
```

```
Open TAG + "Risol" + "D" + Format(Date, "DDMMYY") + "H" + Format(Time, "HhMmSs") +  
".txt" For Output As #1
```

```
Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\ProjetoFranc\TempRisol.txt" For  
Input As #2
```

```
Do Until EOF(2)
```

```
Line Input #2, temp
```

```
Print #1, temp
```

```
Loop
```

```
Close #2
```

```
Close #1
```

```
'LIMPANDO O ARQUIVO DE TEMPORARIO DE DADOS
```

```
'Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\ProjetoFranc\datatemp.txt" For Output  
As #1
```

```
Close #1
```

```
End Sub
```

```
Rem ##### APAGAR GERADOR DE SENOIDES #####
```

```
Public Sub Apaga_Gerador()
```

```
X = 0
```

```
For a = 1 To 16
```

```
q = Int(X / 2)
```

```
r = X - 2 * q
```

```
L(a) = r
```

```
X = q
```

```
PortOut end1, 2 ^ L(a)
```

```

PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 2 ^ L(a) + 1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 0
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
Next a
PortOut end1, 0
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 4
slowDown 0.1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
slowDown 0.1
PortOut end1, 0
slowDown 0.1
PortOut end3, 1: PortOut end3, 0 ' CLK pino 1pp 3o 374
End Sub

```

```

Rem ##### LER ADC12 #####
Public Function leradc12(adc1s As Boolean, adc2s As Boolean, Linha, Coluna)
Med1 = 0
Med2 = 0

```

```

'Rem #####Leitura da placa do LPCM-DFI-UFS#####
PortOut end1, 240
slowDown 0.01
PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

```

```

'Rem *****inicio da conversao*****
PortOut end1, 0
slowDown 0.01
PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

```

```

'Rem *****final da conversao*****

```

```

'Rem *****desliga o adc2*****
PortOut end1, 16
slowDown 0.01
PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4
PortOut end1, 64
slowDown 0.01
PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

```

```

'Rem *****Leitura ADC1*****
PortOut end1, 144
slowDown 0.01
PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

```

```

For f = 1 To 3
PortOut end1, f
slowDown 0.01
M(f) = (PortIn(end2) And 120) / 8
Next f

```

```

'Rem se existe residuo, tente delta = 7 no lugar de 128 ou 135

```

```

'Rem *****Leitura ADC2*****

        PortOut end1, 96
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4
    For f = 1 To 3
        PortOut end1, f
        slowDown 0.01
        LL(f) = (PortIn(end2) And 120) / 8
    Next f

'Rem se existe residuo, tente delta = 7 no lugar de 128 ou 135

        PortOut end1, 0

'Rem *****Fim da aquisicao, preparacao do resultado*****

    If M(3) > 7 Then rest1 = -2047 Else rest1 = 2047
    If LL(3) > 7 Then rest2 = -2047 Else rest2 = 2047
    res = (Int((((M(1)) + 16 * (M(2)) + 256 * (M(3))) + rest1))) - 2046
    res2 = (Int((((LL(1)) + 16 * (LL(2)) + 256 * (LL(3))) + rest2))) - 2046
    res1i(Linha, Coluna) = res
    res12i(Linha, Coluna) = res2
End Function

Rem ##### LER ADCRISOL #####
Public Function ler_adcRisol()

For ii = 1 To 10
        'PortOut end1, 128
        'slowDown 0.01
        'PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 2
        PortOut end1, 240
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

'Rem *****inicio da conversao*****
        PortOut end1, 0
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

' Rem*****final da conversao*****

'Rem *****desliga o adc2*****

        PortOut end1, 16
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

        PortOut end1, 64
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

'Rem *****Leitura ADC1*****

        PortOut end1, 144
        slowDown 0.01
        PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4

        For f = 1 To 3

```



```
PortOut end1, f
slowDown 0.01
M(f) = (PortIn(end2) And 120) / 8
Next f
```

'Rem se existe residuo, tente delta = 7 no lugar de 128 ou 135

'Rem *****Leitura ADC2*****

```
PortOut end1, 96
slowDown 0.01
PortOut end3, 0: slowDown 0.01: PortOut end3, 4
```

```
For f = 1 To 3
PortOut end1, f
slowDown 0.01
LL(f) = (PortIn(end2) And 120) / 8
Next f
```

'Rem se existe residuo, tente delta = 7 no lugar de 128 ou 135

```
PortOut end1, 0
```

'Rem *****Fim da aquisicao, preparacao do resultado*****

```
If M(3) > 7 Then rest1 = -2047 Else rest1 = 2047
If LL(3) > 7 Then rest2 = -2047 Else rest2 = 2047
rres1 = (Int((((M(1)) + 16 * (M(2)) + 256 * (M(3))) + rest1))) - 2046
rres12 = (Int((((LL(1)) + 16 * (LL(2)) + 256 * (LL(3))) + rest2))) - 2046
```

```
Med1 = Med1 + rres1
Med2 = Med2 + rres12
slowDown 2
Next ii
res1 = Int(Med1 / ii)
res12 = Int(Med2 / ii)
```

End Function

Rem ##### SALVAR TEMPORARIAMENTE ADC12 #####

Public Sub salvar_temp_ADC12(Linha, Coluna)

```
Dim Data As Date
```

```
Dim hora
```

```
Data = Date
```

```
hora = Time
```

```
Dim i As Integer
```

```
Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\Projeto franc\TempImp.txt" For
```

```
Append As #1
```

```
For i = 1 To 41
```

```
Print #1, Str(Data) + " ;" + Str(hora) + " ;" + Str(Freq(i)) + " ;" + Str(res1i(i, Coluna)) + " ;" + Str(res12i(i, Coluna)) + " ;" + Str(Tensao(i, Coluna)) + " ;" + Str(Corrente(i, Coluna)) + " ;" + Str(Impedancia(i, Coluna))
```

```
"Print #1, Str(Data) + " ;" + Str(hora) + " ;" + Str(Freq(i)) + " ;" + Str(res) + " ;" + Str(res2)
```

```
Next i
```

```
Close #1
```

```
Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\Projeto franc\TempImp.txt" For
```

```
Append As #1
```

```

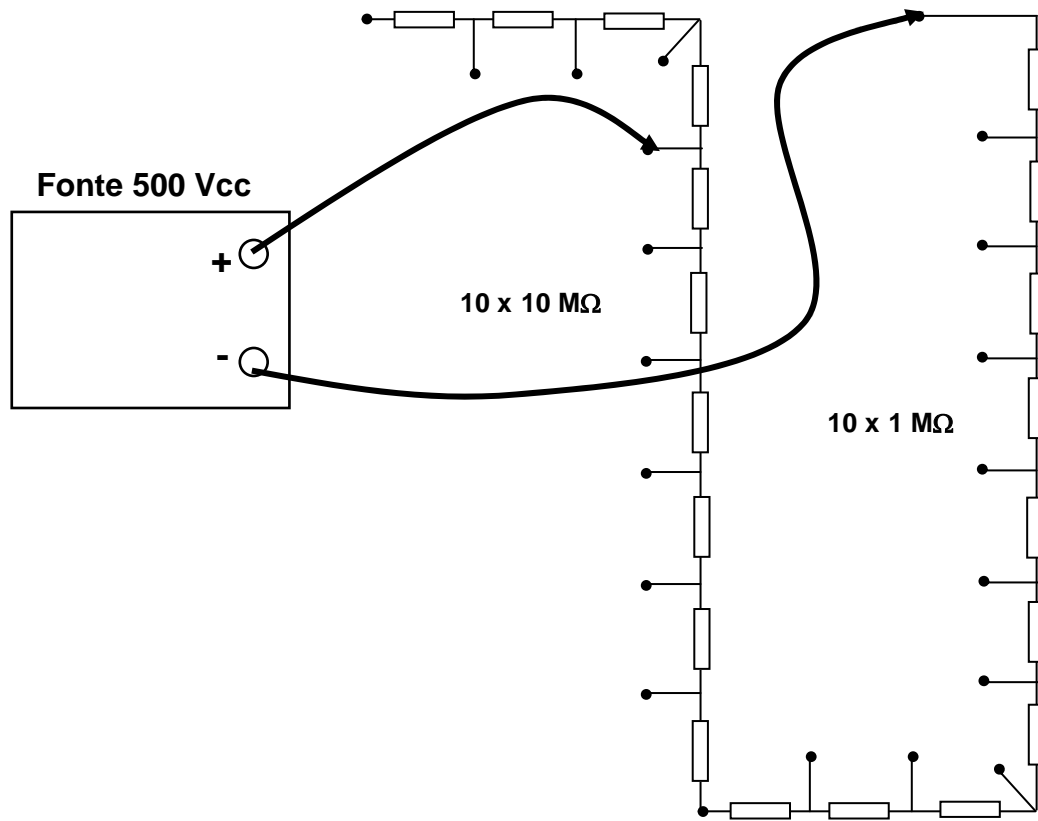
        Print #1, " "
    Close #1
End Sub

Public Sub Salvar_ADC12()
    Dim temp As String
    'Tirar Hora do nome do arquivo
    Open TAG + "Imp" + "D" + Format(Date, "DDMMYY") + "H" + Format(Time, "HhMm") + ".txt"
For Output As #1
    Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\Projetofranc\TempImp.txt" For Input
As #2
        Do Until EOF(2)
            Line Input #2, temp
            Print #1, temp
        Loop
    Close #2
    Close #1
    ' LIMPANDO O ARQUIVO DE TEMPORARIO DE DADOS
    'Open "D:\user\Francisco\Projeto_Francisco\Programa\Projetofranc\datatempADC12.txt" For
Output As #1
    Close #1
End Sub
Public Function Cal_Z(Linha, Coluna)
For J = 1 To 3
    For i = 1 To 41
        Z(i, J) = (adc1(i, J)) / (adc2(i, J) / Rqueda2)
    Next i
Next J
'Gravar Arquivo com Z i,j
End Function

```

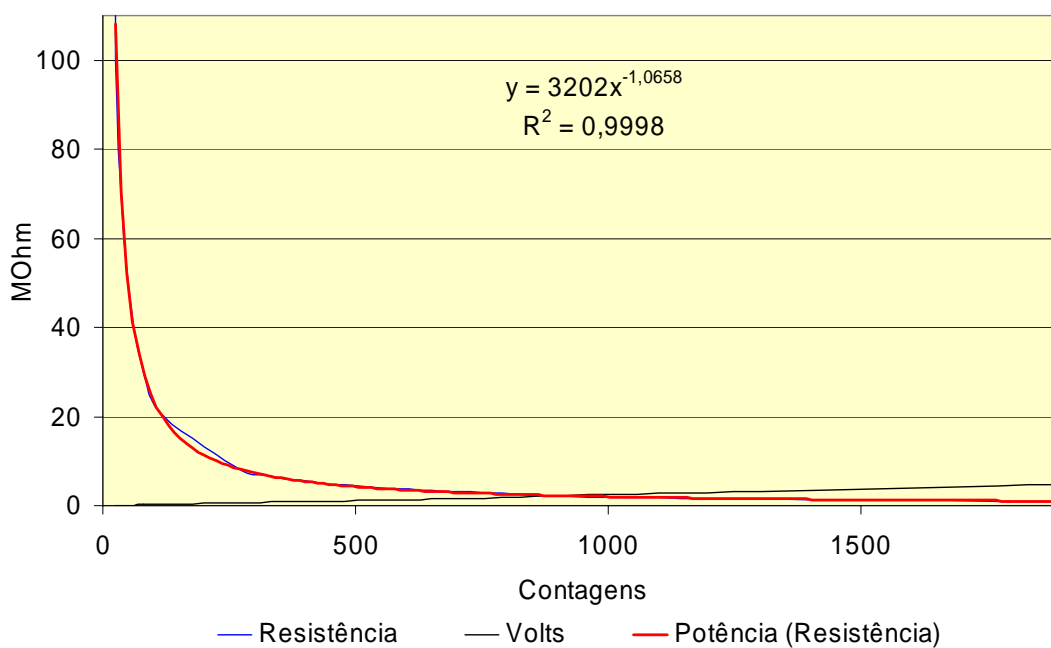
APÊNDICE E – Calibração do sistema

Circuito Montado em Laboratório para Calibrar o Medidor de Isolação



Dados da Calibração e Gráfico do Medidor de Isolação

Contagem	Resistência	Volts
24	110	0,052
26	100	0,058
28	90	0,064
31	80	0,071
35	70	0,08
42	60	0,095
50	50	0,114
61	40	0,142
81	30	0,193
123	20	0,296
274	8	0,666
311	7	0,755
362	6	0,88
433	5	1,052
536	4	1,306
702	3	1,715
1016	2	2,48
1885	1	4,61



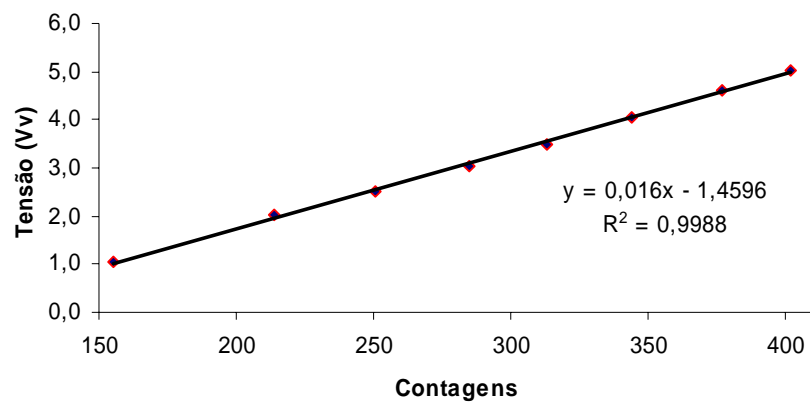
Potência – valores ajustados de Resistência

Dados da Calibração e Gráfico do Melhor de Ipedância

ADC-1

Freq. (Hz)	Contagens	Vv (Volts)
200	155	1,0600
200	214	2,0170
200	251	2,5110
200	285	3,0510
200	313	3,5030
200	344	4,0390
200	377	4,6060
200	402	5,0320

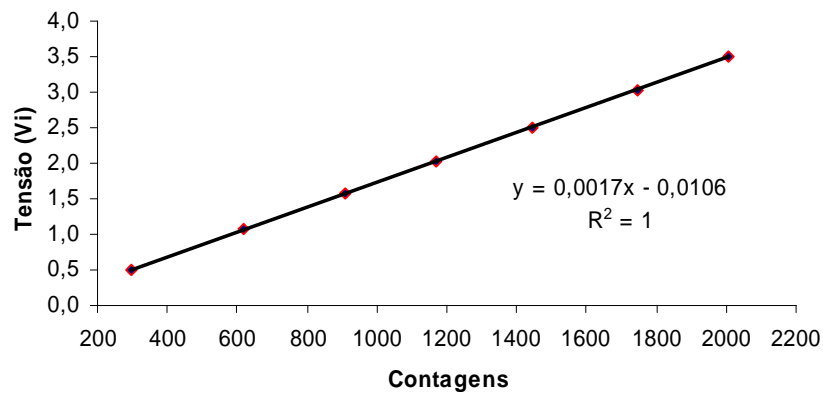
ADC-1



ADC-2

Freq. (Hz)	Contagens	Vi (Volts)
200	296	0,5080
200	620	1,0710
200	908	1,5760
200	1167	2,0210
200	1445	2,5020
200	1746	3,0270
200	2007	3,5000

ADC-2



APÊNDICE F – Dados da medição de impedância com a interface desenvolvida

Motor-1 sem defeito em delta

Freq (Hz)	Média das 13 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	68,89494	66,94735	68,56417
58	140,5836	132,8511	135,7299
87	200,7416	183,5006	191,3715
116	253,5944	228,4554	241,0588
144	302,7626	267,7874	284,8187
173	344,35	305,0073	325,5099
202	386,4057	340,7754	364,2878
231	425,0714	376,5695	401,4885
259	465,2464	409,8245	438,6928
288	500,0295	442,5687	472,6145
317	536,4243	474,6877	508,3696
345	570,9322	508,2559	540,8417
374	604,3307	540,7576	577,4706
403	641,4485	570,2737	610,1935
432	675,27	604,1493	644,1455
460	706,9871	636,7775	676,2663
489	743,1533	666,4355	713,4545
518	773,0169	699,7912	747,0604
547	814,8126	732,7009	774,5464
575	846,8519	762,4405	813,9721
604	879,7892	794,4007	842,3866
633	916,6644	829,7236	876,0677
661	947,8449	862,9334	907,0487
690	985,598	885,5135	948,0531
719	1011,32	928,4047	983,6791
748	1060,379	961,9582	1011,539
776	1086,376	987,9278	1048,725
805	1127,672	1019,831	1079,254
834	1165,799	1053,499	1119,028
863	1202,734	1097,079	1162,808
891	1239,12	1135,002	1184,716
920	1283,818	1154,985	1216,857
949	1319,634	1192,633	1272,088
977	1354,853	1239,67	1319,829
1006	1385,415	1275,931	1337,801
1035	1430,711	1318,857	1364,532
1064	1467,429	1360,002	1408,751
1092	1504,484	1379,375	1442,62
1121	1571,153	1426,149	1510,629
1150	1592,752	1467,819	1551,671
1179	1638,22	1503,615	1579,79

Motor-1 em estrela sem defeito

Freq (Hz)	Média das 13 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	217,9439	211,9625	222,3039
58	385,1229	367,1407	407,7195
87	530,3353	499,161	567,2601
116	659,5753	619,5657	699,1525
144	785,0992	734,3549	832,4269
173	912,34	849,6243	960,4131
202	1023,43	958,9709	1083,316
231	1146,634	1070,735	1205,147
259	1267,672	1176,99	1331,159
288	1378,074	1305,571	1457,136
317	1512,383	1409,22	1599,687
345	1622,719	1531,541	1728,675
374	1770,253	1670,992	1844,691
403	1904,771	1770,657	1989,998
432	2049,288	1913,602	2149,368
460	2189,384	2073,607	2276,148
489	2320,323	2202,93	2413,606
518	2464,456	2303,282	2552,369
547	2591,894	2429,868	2754,377
575	2820,83	2610,83	2990,899
604	2990,019	2801,157	3119,34
633	3182,929	2987,588	3419,136
661	3416,853	3122,043	3494,606
690	3454,748	3299,134	3760,212
719	3799,309	3569,314	3909,729
748	4014,528	3723,509	4163,359
776	4114,379	3914,086	4522,512
805	4520,474	4058,279	4573,53
834	4718,977	4435,386	4928,061
863	5000,076	4713,882	5427,433
891	5433,358	5148,391	5498,015
920	5424,98	5502,921	6037,375
949	5928,819	5715,756	6470,062
977	6362,703	5602,264	6909,481
1006	6907,94	6040,485	7087,065
1035	7087,065	6689,315	7638,206
1064	7078,785	6897,158	8182,175
1092	8005,65	7631,996	9097,631
1121	9100,711	7994,24	9273,048
1150	9087,761	8728,117	9642
1179	9650,38	9085,21	10016,08

Motor-2 em delta sem defeito

Freq (Hz)	Média das 13 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	32,551	33,83479	33,93856
58	44,59695	39,64604	41,85298
87	59,42417	47,76417	50,55484
116	75,00059	57,07902	60,48059
144	90,61028	67,09071	70,44771
173	106,8137	77,25469	81,14407
202	123,367	88,30683	92,53182
231	140,0669	99,34144	103,6116
259	156,7311	111,2967	115,3215
288	173,6813	122,7692	127,0744
317	190,7399	134,2645	138,8406
345	208,3632	148,08	151,6238
374	225,8151	161,5062	163,928
403	243,9663	174,8083	176,9235
432	262,0655	188,4374	189,6196
460	279,5013	201,852	202,1121
489	296,7305	215,7466	214,6577
518	314,784	229,5314	227,6076
547	332,9614	243,5096	240,7294
575	350,7892	256,8644	253,7017
604	368,4838	271,5384	266,2601
633	386,3558	285,1108	279,3673
661	404,3542	298,6295	292,3015
690	422,7015	312,9085	305,6137
719	439,6799	326,8631	318,3537
748	458,3841	341,5494	332,2571
776	476,2022	355,9355	344,2625
805	494,6459	341,4437	344,1329
834	512,4269	352,6494	358,2984
863	531,1538	366,407	370,9721
891	547,9135	378,2277	383,5492
920	567,9008	391,3424	397,045
949	585,6293	405,0353	409,3198
977	603,0896	417,3113	423,7627
1006	621,8607	430,7321	438,2988
1035	640,7996	441,0872	448,5779
1064	657,1976	454,7998	461,3543
1092	676,521	468,4039	477,4746
1121	695,1445	483,5106	490,1441
1150	713,9295	496,1821	504,6102
1179	732,2472	509,7686	518,4778

Motor-2 em estrela sem defeito

Freq (Hz)	Média das 13 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	90,39212	88,77179	90,87804
58	114,5219	113,7052	114,7488
87	145,3706	144,6282	145,5316
116	179,0478	178,87	179,1339
144	213,8215	213,9411	213,7834
173	249,29	250,3183	249,3921
202	285,8252	286,3373	286,7649
231	322,1311	323,0949	321,9779
259	360,2351	360,5287	360,2429
288	396,8373	398,2903	399,1935
317	435,0591	435,9531	436,9173
345	474,8121	474,081	475,0463
374	511,5812	512,87	513,626
403	552,9705	552,9705	553,0936
432	590,5525	591,7846	594,9456
460	630,7154	632,4635	631,1719
489	676,0985	674,823	675,2792
518	713,7468	713,588	715,9207
547	752,998	754,4915	756,4832
575	800,9613	803,715	808,9527
604	845,1203	847,96	847,5827
633	887,4496	890,773	893,0124
661	935,3343	937,9153	936,1673
690	978,4697	981,0108	992,3256
719	1018,145	1020,684	1023,206
748	1085,782	1085,299	1081,84
776	1128,456	1124,969	1135,502
805	1180,577	1180,84	1177,574
834	1234,19	1239,56	1239,285
863	1294,659	1298,798	1293,219
891	1338,803	1353,781	1353,781
920	1402,4	1392,244	1397,473
949	1442,627	1449,395	1436,796
977	1515,711	1509,526	1510,199
1006	1592,66	1585,783	1601,653
1035	1638,179	1645,542	1638,913
1064	1698,929	1699,686	1699,686
1092	1778,982	1770,278	1767,528
1121	1812,082	1822,932	1813,294
1150	1891,873	1882,234	1923,183
1179	1952,673	1964,637	1952,24

Motor-2 em delta 1º defeito

Freq (Hz)	Média das 6 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	33,14699	33,26548	33,99746
58	40,916	40,92727	41,66949
87	50,14299	50,00864	51,3058
116	60,48377	60,35536	61,69775
144	71,23279	71,19207	72,72307
173	82,06	81,78318	84,18119
202	93,59911	92,73712	95,68161
231	104,4364	103,6446	106,602
259	115,3525	114,8939	117,7175
288	126,8007	125,2281	129,39
317	137,6213	135,9384	140,6574
345	148,8158	146,7434	151,9525
374	159,6229	157,3236	162,986
403	171,0216	168,0578	173,8425
432	181,8853	177,872	185,1796
460	192,9672	189,2498	196,1959
489	203,7722	198,9243	207,6291
518	214,9603	209,7298	219,1559
547	226,1256	221,0069	229,9772
575	237,6883	230,9486	241,219
604	249,5368	241,9613	252,6762
633	260,2547	253,0014	264,4678
661	270,9657	263,8788	275,4802
690	282,5292	274,6782	286,9978
719	293,5993	284,7441	299,3626
748	306,0985	295,6079	310,7143
776	317,7818	306,5799	321,8234
805	328,7067	319,9503	336,7047
834	339,8647	330,1157	345,1448
863	351,6167	340,728	358,7332
891	361,9568	354,7096	369,1859
920	375,7199	365,6201	381,377
949	386,7911	375,2908	392,8425
977	399,3036	388,1233	404,2225
1006	412,2101	401,0456	417,7154
1035	423,38	413,3751	431,2424
1064	436,8171	422,7251	441,7251
1092	447,2204	436,1173	455,4062
1121	458,7561	449,444	468,8133
1150	474,6016	458,1709	481,3567
1179	484,6426	474,3178	493,0785

Motor-2 em delta 2º defeito

Freq (Hz)	Média das 6 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	33,26006	32,89927	33,24122
58	40,55024	40,00681	40,99343
87	49,83542	48,95426	50,72085
116	59,99514	58,46968	61,05558
144	70,34285	68,47475	71,97885
173	81,32	78,41472	83,18427
202	92,3183	88,79869	94,36187
231	103,5026	99,04806	105,5839
259	114,4879	109,1899	116,6499
288	125,1414	119,1355	127,5848
317	136,3837	129,0056	138,6199
345	147,3177	138,5946	149,6721
374	157,6401	148,6026	160,7855
403	168,9393	158,729	171,947
432	179,5745	168,8634	182,5115
460	190,4302	179,1541	193,8786
489	201,767	189,8809	205,2826
518	212,9505	199,8069	216,6952
547	224,012	209,7602	227,3869
575	234,5481	219,2834	239,2977
604	245,8655	231,2861	250,5425
633	256,6158	240,5166	261,4772
661	268,8203	251,5179	273,0169
690	279,836	263,0175	284,3861
719	290,5112	272,2263	296,0723
748	301,345	283,1492	306,883
776	314,3464	295,8949	319,1272
805	325,205	305,9928	331,3596
834	337,5455	316,9578	342,2157
863	348,9094	328,2484	355,7406
891	361,8376	338,596	366,3784
920	372,9225	349,5887	378,7252
949	384,0195	361,5295	391,5097
977	396,7491	374,6223	403,5923
1006	408,4862	385,1533	416,43
1035	418,9497	398,2818	429,8767
1064	431,9747	410,2327	441,1745
1092	446,396	421,9256	451,1858
1121	455,5063	435,9777	465,6713
1150	469,6993	450,0972	476,3887
1179	482,2166	457,295	492,0338

Motor-2 em delta 3º defeito

Freq (Hz)	Média das 6 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	33,15454	32,94314	34,19776
58	40,71688	40,88108	41,74454
87	50,15597	49,9262	51,1724
116	60,3341	60,54129	61,94368
144	71,15224	70,94207	72,76807
173	82,27	82,10886	84,05139
202	93,60034	92,36564	95,26623
231	104,6816	103,1973	106,5822
259	115,5555	114,0344	117,718
288	127,1299	125,0424	129,6224
317	137,8764	134,9937	140,5864
345	149,0515	145,7933	151,5176
374	160,5064	156,0923	162,9918
403	170,7544	166,3408	174,1814
432	181,8544	176,7165	185,7898
460	193,2516	188,2672	196,8166
489	203,6718	198,3258	207,5636
518	214,7497	208,706	218,7504
547	226,5691	219,1764	230,8633
575	236,8689	230,402	241,5687
604	248,278	240,8769	253,5626
633	259,9574	251,3959	264,4678
661	270,6384	262,3363	275,1394
690	280,9504	272,423	286,9978
719	293,5993	284,1558	298,4336
748	305,5165	294,6422	310,8644
776	317,3132	305,5477	321,3571
805	328,3823	316,9578	333,5951
834	340,1953	329,5622	346,2092
863	351,2731	339,8514	358,1162
891	362,782	350,0975	370,5574
920	376,0878	363,3216	381,561
949	387,9034	373,534	395,525
977	398,1301	384,5936	404,6154
1006	411,2054	397,6759	418,8061
1035	423,5841	409,1781	430,084
1064	438,0985	420,2929	443,564
1092	447,0064	433,9799	453,2997
1121	458,7484	448,4325	466,9938
1150	474,3624	456,6308	482,2817
1179	486,8078	472,6788	492,0338

Motor-2 em delta 4º defeito

Freq (Hz)	Média das 5 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	32,65425	31,87815	33,40259
58	40,34513	38,98847	40,79747
87	49,57934	47,28249	50,0899
116	59,50886	56,28942	60,63874
144	70,15739	66,25051	71,59746
173	80,83	75,98259	82,37667
202	91,69023	85,71493	93,67504
231	102,5226	95,44606	104,6597
259	113,3273	105,7551	115,5533
288	124,3986	115,4814	127,4285
317	135,7066	125,6724	137,7634
345	146,4046	135,6143	148,6156
374	157,1092	145,3385	160,3984
403	168,0676	155,5468	171,2561
432	179,2773	165,5989	182,8716
460	190,3931	175,2354	193,2909
489	201,0421	186,0313	203,9769
518	211,8114	195,6011	215,7753
547	222,9485	206,0796	226,9767
575	234,7557	216,4376	238,6329
604	245,1209	227,2003	249,6901
633	256,2895	237,8012	261,9739
661	268,797	248,3632	272,1805
690	278,157	259,2029	284,7159
719	290,7312	270,1449	295,1313
748	302,1051	280,2785	306,8533
776	314,3771	292,0167	318,6372
805	326,0827	302,6978	330,528
834	338,0281	314,0084	342,6455
863	349,5225	324,4151	355,7749
891	360,2033	337,1822	364,4274
920	371,8652	348,9427	380,4624
949	386,0603	359,6886	392,5976
977	395,6638	372,4239	402,9111
1006	407,7414	381,4885	416,5506
1035	418,9051	396,0729	427,5981
1064	432,5891	406,5948	441,0393
1092	444,1064	419,8155	451,0551
1121	455,2279	428,0521	466,9038
1150	470,1576	442,1078	478,2315
1179	482,6717	457,3836	490,9354

Motor-2 em delta 5º defeito

Freq (Hz)	Média das 3 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	33,21358	31,80048	33,23156
58	40,03087	38,63938	40,67394
87	49,38781	46,62985	50,06597
116	59,62816	55,94954	60,75296
144	70,28959	65,65098	71,60921
173	80,64	75,33246	82,13101
202	91,33118	85,01311	93,01942
231	102,4676	95,14489	104,108
259	113,1606	104,904	116,0836
288	124,4374	114,6739	126,5967
317	135,4994	124,8348	137,8165
345	146,1666	134,9521	148,7053
374	157,0172	144,4915	159,9832
403	168,1426	154,8812	170,6849
432	179,081	165,2729	182,8361
460	189,933	175,1927	193,5538
489	200,7501	185,4949	204,3432
518	211,2592	195,0476	215,8257
547	224,1346	206,5616	226,747
575	234,4354	216,3534	238,3556
604	245,9864	226,9462	249,6418
633	256,7414	237,4315	260,6763
661	267,923	247,9137	272,8851
690	278,8619	258,4987	284,661
719	291,898	268,8482	295,0295
748	301,4883	280,3329	307,0314
776	314,1928	290,7193	319,146
805	324,7095	302,6978	331,5208
834	337,6607	313,2683	342,381
863	347,2144	324,6038	356,5997
891	361,3082	337,4434	365,8966
920	371,3573	348,7655	376,0734
949	384,2115	358,7332	391,6891
977	395,1886	372,9112	401,8014
1006	410,1253	381,342	416,631
1035	420,8785	397,0729	427,6388
1064	431,764	407,0879	439,2134
1092	445,7428	421,9256	453,9602
1121	452,8667	428,6327	459,0663
1150	469,2409	443,1357	473,3664
1179	481,0058	457,295	489,5696

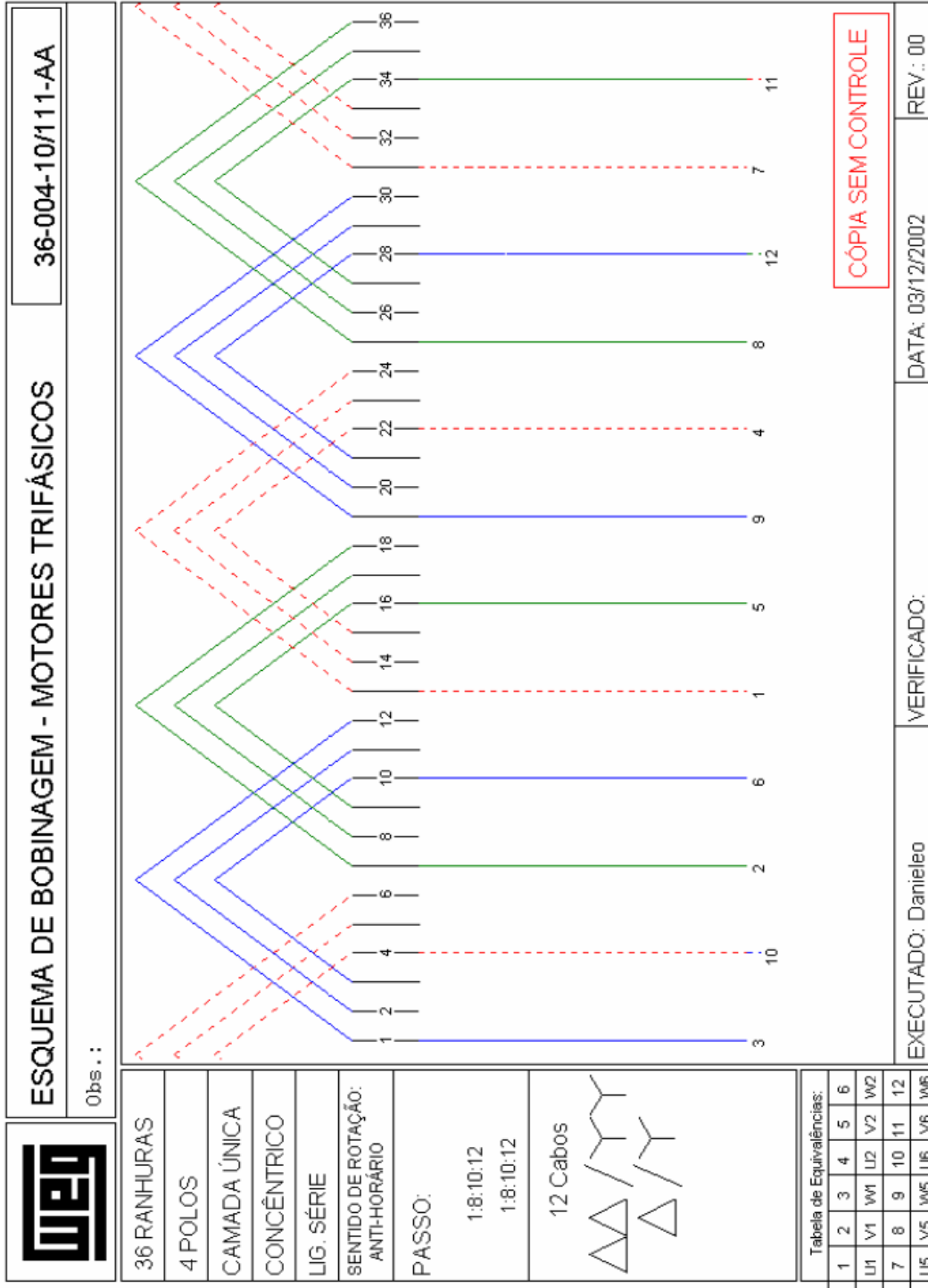
Motor-2 em delta 6° defeito

Freq (Hz)	Média das 3 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	30,715	23,30144	31,17452
58	37,86612	28,05553	38,12642
87	46,23904	33,84333	46,68081
116	55,49732	40,15917	56,42349
144	65,21967	46,80697	66,80146
173	75,63	53,7744	76,85652
202	85,62363	60,92319	87,0684
231	96,04634	68,16017	97,75181
259	106,5087	75,44773	108,011
288	116,8769	82,03649	118,5065
317	126,6362	89,09452	128,6839
345	137,5504	96,22452	139,2546
374	146,9791	103,632	149,8305
403	157,328	110,637	159,3514
432	167,0822	117,7452	170,4902
460	178,0562	124,8105	181,0175
489	188,3268	131,481	192,3568
518	198,4433	138,8461	201,2835
547	209,2539	145,7122	211,8556
575	218,5768	153,7	222,1531
604	229,9358	160,7969	233,5335
633	239,3523	167,7159	244,0976
661	249,2928	175,3633	255,6585
690	260,4226	183,1368	265,2147
719	271,0265	190,0661	276,0848
748	282,0855	196,8666	286,1272
776	294,0297	204,7844	297,4731
805	302,877	212,5641	307,0314
834	314,1928	220,1168	319,4496
863	326,3375	227,363	329,2038
891	333,8524	235,3471	342,381
920	346,8752	243,418	351,2846
949	356,4848	251,2449	364,6198
977	367,965	258,4987	375,3478
1006	379,4413	266,4424	386,0862
1035	391,7097	275,2828	398,2253
1064	403,9333	283,5615	410,7054
1092	416,1083	290,7162	422,3338
1121	424,4859	298,4606	432,1868
1150	438,8528	305,5477	443,564
1179	451,2326	316,9578	459,0663

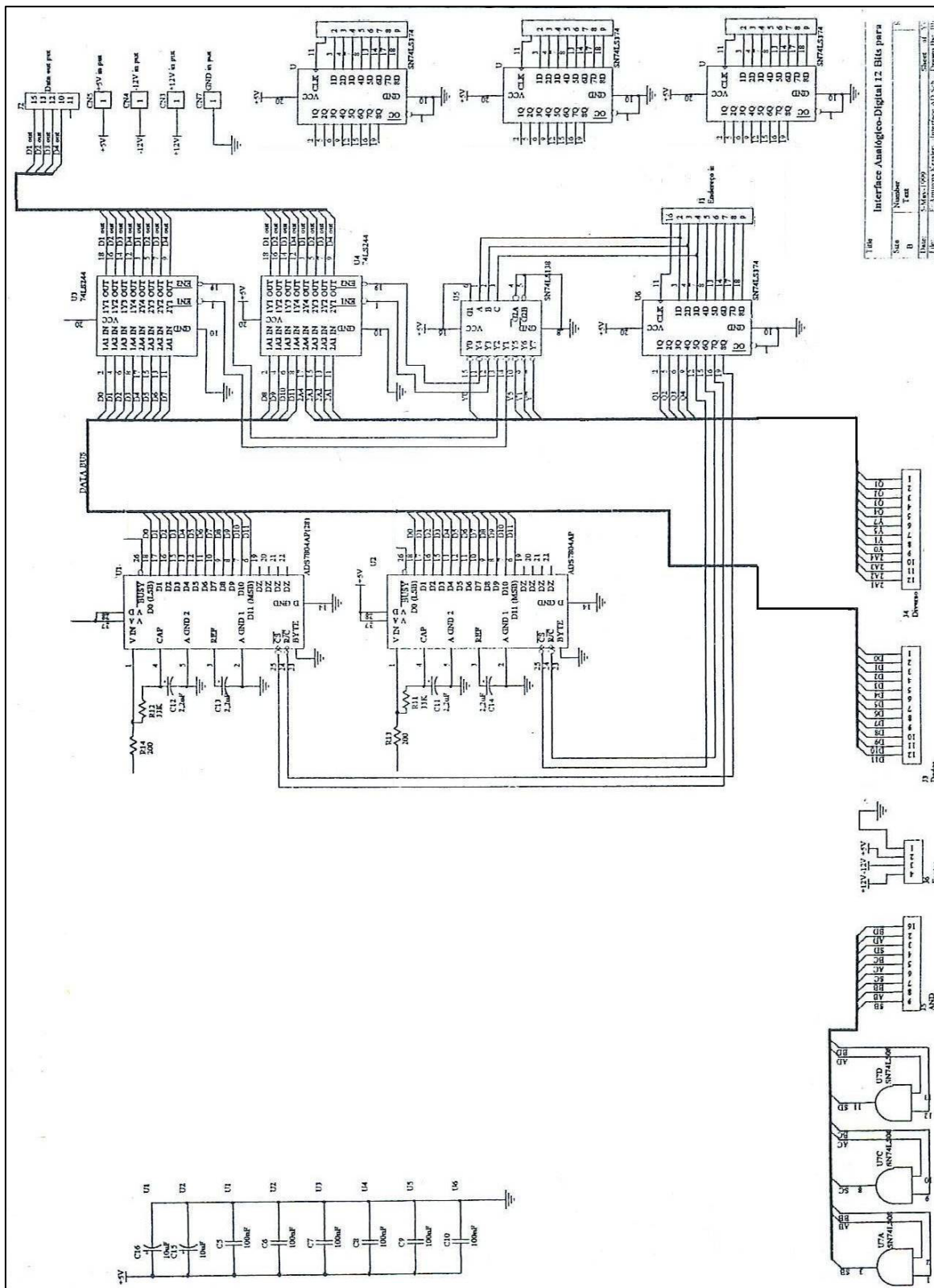
Motor-3 sem defeito em estrela

Freq (Hz)	Média das 13 Medidas		
	ZL1L2-M	ZL2L3-M	ZL3L1-M
29	171,8663	172,8215	180,2823
58	193,1259	196,8787	203,9457
87	219,8485	230,0962	234,8434
116	253,0634	267,426	274,2805
144	289,8623	311,4613	315,8399
173	330,23	353,6116	361,1754
202	368,9908	401,3023	409,2445
231	412,5226	446,0313	457,261
259	457,1045	493,9503	511,5407
288	501,5705	543,5881	568,5147
317	545,4173	597,63	624,2341
345	595,7383	647,2019	687,2493
374	640,5214	699,2937	751,3646
403	688,0036	754,1093	820,6923
432	739,014	814,2566	877,7322
460	793,906	870,9971	946,6397
489	848,807	928,6582	1011,198
518	899,654	973,5947	1089,649
547	948,1197	1042,288	1173,343
575	1010,001	1098,848	1247,717
604	1058,005	1159,132	1331,735
633	1125,209	1240,51	1435,74
661	1182,031	1300,705	1515,241
690	1240,51	1360,405	1605,57
719	1299,554	1436,059	1705,363
748	1364,831	1505,578	1819,351
776	1431,466	1594,269	1930,915
805	1504,605	1661,006	2031,554
834	1579,011	1706,876	2141,496
863	1638,071	1820,158	2278,712
891	1705,741	1872,997	2373,01
920	1768,513	1989,421	2506,384
949	1822,177	2067,748	2641,028
977	1950,597	2116,696	2832,107
1006	2032,02	2266,137	2971,97
1035	2102,178	2311,37	3135,729
1064	2210,98	2489,269	3400,15
1092	2277,195	2508,591	3542,728
1121	2343,018	2623,417	3772,733
1150	2486,51	2761,736	3926,286
1179	2525,153	2831,5	4181,097

ANEXO A Bobinado do Motor – 1



ANEXO B Circuito da Interface de Aquisição de Dados (LaPO/IM/UFBA)



Rev	Modific	Y
1		

Interface Analógico-Digital 12 Bits para

Proj: 1999
 Autor: [Name]
 Data: [Date]
 Folha: 11 de 11

ANEXO C Definição dos Registros da Porta Paralela

BASE ADDRESS - PDR *Printer Data Register* (Read or Write)

Bit 0 Pin 2 Data Output

Bit 1 Pin 3 Data Output

Bit 2 Pin 4 Data Output

Bit 3 Pin 5 Data Output

Bit 4 Pin 6 Data Output

Bit 5 Pin 7 Data Output

Bit 6 Pin 8 Data Output

Bit 7 Pin 9 Data Output

BASE ADDRESS + 1 - PSR *Printer Status Register* (Read Only)

Bit 0 Not used

Bit 1 Not used

Bit 2 Not used

Bit 3 Pin 15 ERROR Input

Bit 4 Pin 13 SELECT Input

Bit 5 Pin 12 PAPER END Input

Bit 6 Pin 10 ACKNOWLEDGE Input

Bit 7 Pin 11 BUSY Input

BASE ADDRESS + 2 - PCR *Printer Control Register* (Read or Write)

Bit 0 Pin 1 DATA STROBE Output

Bit 1 Pin 14 AUTO LINE FEED Output

Bit 2 Pin 16 INITIALIZE PRINTER Output

Bit 3 Pin 17 SELECT INPUT Output

Bit 4 0 = disable interrupt, 1 = enable interrupt

Bit 5

Bit 6

Bit 7

Using the Parallel Port as an Input/Output Channel - National Instruments

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/953A4AB52663089D85256427004778C4>, Acessado em 02/07/2007.