

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO
“ADIB MOISÉS DIB”**

**GUSTAVO GONÇALVES DE OLIVEIRA LIBERATO
HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA
MÁRCIO MAGALHÃES DE MELLO
WASHINGTON DE LIMA PEREIRA**

**AUTOMAÇÃO APLICADA A MANUTENÇÃO: MONITORAMENTO DE MOTORES
ELÉTRICOS**

São Bernardo do Campo – SP
Junho / 2015

**GUSTAVO GONÇALVES DE OLIVEIRA LIBERATO
HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA
MARCIO MAGALHÃES DE MELLO
WASHINGTON DE LIMA PEREIRA**

**AUTOMAÇÃO APLICADA A MANUTENÇÃO: MONITORAMENTO DE MOTORES
ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Bernardo do Campo “Adib Moises
Dib” como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo (a) em
Automação Industrial.

Orientador: Professor Me Murilo
Zanini de Carvalho.

São Bernardo do Campo – SP
Junho / 2015

**GUSTAVO GONÇALVES DE OLIVEIRA LIBERATO
HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA
MARCIO MAGALHÃES DE MELLO
WASHINGTON DE LIMA PEREIRA**

**AUTOMAÇÃO APLICADA A MANUTENÇÃO: MONITORAMENTO DE MOTORES
ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Bernardo do Campo “Adib Moises
Dib” como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo (a) em
Automação Industrial.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovada
em:10/06/2015.

Banca Examinadora

Prof. Me. Murilo Zanini de Carvalho, FATEC SBC - Orientador.

Prof. Dr. Delcínio Ricci, FATEC SBC - Avaliador.

Prof. Dr. Leandro Zeidan Toquetti, FATEC SBC – Avaliador

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais e esposas, a Sophia e a todos os professores que nos ajudaram principalmente a o Prof. Dr. Delcínio Ricci pela sua paciência e dedicação e aos colegas que de alguma forma também nos ajudaram.

“Há duas formas de viver a vida: uma é acreditar que não existem milagres, a outra é acreditar que todas as coisas são um milagre.”

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

Este projeto tem como objetivo a criação de um sistema supervisório a partir da plataforma LabVIEW, para o monitoramento e aquisição de dados referentes à vibração, corrente e temperatura em motores elétricos, arquivando os dados para posterior análise, e emitindo alertas em sua tela frontal para indicar alguma alteração com o propósito de colaborar com o diagnóstico de defeitos. Para os testes foi desenvolvida uma bancada experimental que conta com um motor elétrico de indução trifásico que tem seu acionamento e controle realizado através de um inversor de frequência, os dados são coletados a partir de sensores que foram implantados no motor e em suas linhas de alimentação. Os dados são coletados por uma placa de aquisição que funciona como uma interface entre os sensores e o ambiente virtual. Os dados coletados são gravados através de uma aplicação virtual que utiliza a plataforma LabVIEW para a geração de sua programação e funcionamento. A programação é dividida em blocos, que contém as rotinas a serem executadas para aquisição dos sinais provenientes dos sensores, arquivamento dos dados e visualização dos sinais. A análise dos dados é feita graficamente e estatisticamente utilizando o *software* Microsoft Excel. Os dados são analisados através da correlação das grandezas físicas monitoradas e a partir da análise espectral do sinal de vibração através da transformada de Fourier.

Palavras-chave: Supervisório. Análise. Vibração. Manutenção. Monitoramento.

ABSTRACT

This project aims to set up a supervisory system from the LabVIEW platform for monitoring and data acquisition relating to vibration, current and temperature in electric motors, archiving data for later analysis, and issuing warnings on the front screen to indicate any changes in order to collaborate with the diagnosis of defects. For the tests was developed an experimental bench that has an electric three-phase induction motor having its drive and control performed by a frequency inverter, the data is collected from sensors that have been deployed in the engine and its power lines. The data is collected by an acquisition board that functions as an interface between the sensors and the virtual environment. The data collected are recorded through a virtual application using the LabVIEW platform for generating its programming and operation. Programming is divided into blocks, which contains the routines to be performed to acquire the signals from the sensors, data archiving and display signs. The data analysis and graphing are done using Microsoft Excel statistical software. The data are analyzed by correlation of physical quantities monitored and from the spectral analysis of the vibration signal by Fourier transform.

Keywords: Supervision. Analysis. Vibration. Maintenance. Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Evolução da manutenção	15
Figura 1.2 – Manutenção corretiva.....	16
Figura 1.3 – Custos dos tipos de manutenção	18
Figura 1.4 – Falhas relacionadas à vibração	19
Figura 1.5 – Vista explodida do motor elétrico.....	21
Figura 1.6 – Comparação entre valor de pico e RMS.....	24
Figura 1.7 – Medidor de vibração com análise de frequência.....	25
Figura 1.8 – Sinal de vibrações no domínio da frequência	26
Figura 1.9 – Analise através do espectro de frequência	27
Figura 1.10 – Captação de dados	28
Figura 1.11 – Barra normal e barra quebrada	29
Figura 1.12 - Severidade e recomendações para a análise de corrente.....	30
Figura 1.13 – Elevação de temperatura	32
Figura 1.14 – Falha por sobreaquecimento.....	32
Figura 1.15 - Comportamento térmico do estator e do rotor	33
Figura 1.16 – Tipos de termopares	34
Figura 1.17 - Acelerômetro.....	34
Figura 1.18 - Critério de severidade de vibração em máquinas rotativas	35
Figura 1.19 – Princípio de funcionamento do sensor hall	36
Figura 1.20 - Estrutura de um sistema de instrumentação virtual	38
Figura 1.21 – Aquisição de dados e Programação LabVIEW gráfica	40
Figura 3.1 – Projeto finalizado.....	45
Figura 3.2 – Diagrama em blocos	45
Figura 3.3 – Motor de indução trifásico	46

Figura 3.4 – Inversor de frequência Power Flex 4M	47
Figura 3.5 – Diagrama do funcionamento do acelerômetro.	48
Figura 3.6 – Acelerômetro.....	49
Figura 3.7 – Diagrama do ACS712	49
Figura 3.8 – Sensor de corrente.....	50
Figura 3.9 – diagrama de bloco funcional do sensor de temperatura LM35.	51
Figura 3.10 – Sensor de temperatura.....	52
Figura 3.11 – Placa de aquisição de dados.....	53
Figura 3.12 – Isolação do LM35.....	54
Figura 3.13 – Fixação dos sensores LM35.....	55
Figura 3.14 – Configuração do filtro do LM35	56
Figura 3.15 – Fixação do MMA-7631	56
Figura 3.16 – Terminais MMA 7361	57
Figura 3.17 – Etapas de desenvolvimento da placa de sensoriamento da corrente.	58
Figura 3.18 – Placa de sensoriamento da corrente.	59
Figura 3.19 – Entradas e saídas do inversor de frequência.....	60
Figura 3.20 – Bloco dos terminais de controle.....	61
Figura 3.21 – Esquema de aquisição de dados.....	62
Figura 3.22 – Ligação dos sensores na placa de aquisição	63
Figura 3.23 – Peças de acoplamento.....	64
Figura 3.24 – Desenho da peça de fixação da pinça de freio	64
Figura 3.25 – Sistema de freios acoplado ao motor.	65
Figura 3.26 – Bancada experimental.....	66
Figura 3.27 – Diagrama de blocos da programação da aplicação.	67
Figura 3.28 – Painel frontal da aplicação.	68
Figura 3.29 – Visão geral da programação.	69
Figura 3.30 – Bloco responsável pela aquisição dos dados.	70

Figura 3.31 – Tratamento e visualização dos sinais do acelerômetro.	71
Figura 3.32 – Tratamento e visualização dos sinais do sensor de temperatura.	71
Figura 3.33 – Tratamento e visualização dos sinais do sensor de corrente.....	72
Figura 3.34 – Bloco de comparação dos dados e sua visualização na tela frontal. ...	73
Figura 3.35 – Bloco responsável pela gravação dos dados.....	74
Figura 3.36 – Bloco de arquivamento das planilhas e identificação dos dados.	75
Figura 3.37 – Medição efetuada para a verificação dos valores da corrente.	76
Figura 3.38 – Fluxo dos dados.....	77
Figura 3.39 – Planilha de entrada de dados.....	77
Figura 3.40 – Planilha com os gráficos de correlação do modulo da aceleração.....	78
Figura 3.41 – Planilha que confronta os dados de corrente e temperatura.....	79
Figura 3.42 – Planilha que efetua a análise da estatística descritiva.....	80
Figura 3.43 – Planilha de análise por transformada de Fourier.	81
Figura 3.44 – Efeito da força centrífuga.....	82
Figura 3.45 – Comparativo dos espectros referente ao eixo X.	83
Figura 3.46 – Comparativo dos espectros referente ao eixo Y.	84
Figura 3.47 – Comparativo dos espectros referente ao eixo Z.	85
Figura 3.48 – Comparativo dos espectros referente ao nível global de vibração.....	86
Figura 3.49 – Diferença dos valores da corrente em duas fases.	87
Figura 3.50 – Projeto finalizado.....	88

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
1.2 Manutenção	14
1.1.1 Manutenção corretiva	16
1.1.2 Manutenção preventiva	17
1.1.3 Manutenção preditiva	17
1.1.4 Manutenção detectiva	19
1.2 Motor elétrico	20
1.3 Vibração mecânica	22
1.3.1 Análise de vibração de nível global	23
1.3.2 Medidor de vibração com análise de frequência	24
1.3.3 Analisadores de frequência por transformada de Fourier	26
1.3.4 Monitoração de vibração	27
1.4 Análise de corrente de motores elétricos	29
1.5 Análise de temperatura de motores elétricos	31
1.6 Sensores	33
1.6.1 Sensor de temperatura	33
1.6.2 Sensor de vibração	34
1.6.3 Sensor de efeito hall	35
1.7 Instrumentação virtual	36
1.7.1 Arquitetura da instrumentação virtual	37
1.8 LabVIEW	39
2 METODOLOGIA	41
2.1 Problema e justificativa	41
2.2 Coleta e análise de dados e desenvolvimento do projeto	42
2.3 Etapas físicas do projeto	44

3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	45
3.1	Explicação dos equipamentos utilizados	45
3.1.1	Motor de indução trifásico	46
3.1.2	Inversor de frequência	47
3.1.3	Acelerômetro	48
3.1.4	Sensor de corrente	49
3.1.5	Sensor de temperatura	51
3.1.6	Placa de aquisição de dados	52
3.2	Instrumentação do motor	54
3.3	Ligação do inversor de frequência e do motor	59
3.4	Montagem do circuito de aquisição de dados	61
3.5	Indução de carga e defeitos	64
3.6	Montagem da bancada experimental	66
3.7	Instrumentação virtual via LabVIEW	67
3.7.1	Painel Frontal	67
3.7.2	Vista geral da programação	68
3.7.3	Aquisição e tratamento dos sinais	70
3.7.4	Armazenamento e arquivamento dos dados	73
3.8	Verificação e análise dos dados coletados	75
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
	REFERÊNCIAS	91
	ANEXOS	93

INTRODUÇÃO

Com a popularização da informática e a consequente redução do seu valor econômico, percebe-se um grande aumento na utilização de sistemas supervisórios para monitoramento e diagnóstico de falhas em plantas industriais, comerciais e até mesmo em residências de alto padrão. Nota-se uma carência no mercado, pois somente empresas de grande porte possuem poder aquisitivo para implementar tais sistemas de monitoramento para a manutenção, enquanto um grande percentual de indústrias de médio e pequeno porte se encontra desprovidas deste tipo de sistema, devido ao seu alto custo de aquisição e implantação. Torna-se necessário pesquisar e implementar novas técnicas de monitoramento visando viabilizar para os setores do mercado com menor poder aquisitivo um ganho significativo na qualidade de manutenção de seus equipamentos e consequentemente uma redução em seus custos operacionais.

O objetivo deste trabalho é desenvolver e melhorar técnicas de manutenção preditiva / detectiva com um custo mais acessível através da construção de um sistema de instrumentação baseada principalmente na análise de vibração de motores. O sistema deve ser robusto o bastante para suportar os rigores do ambiente industrial além de ser imune a ruídos e interferências externas que podem prejudicar a aquisição e transmissão dos dados. O sistema deve ter um custo significativamente baixo em comparação com os sistemas atualmente disponíveis no mercado com qualidade similar ou superior. Espera-se com esse trabalho contribuir para um aprimoramento contínuo das técnicas de manutenção atualmente utilizadas pela indústria.

Este trabalho é dividido em três capítulos:

Primeiro capítulo Fundamentação Teórica: encontram-se as teorias que dão sustentação ao desenvolvimento do projeto.

Segundo capítulo Metodologia: encontram-se as etapas do caminho percorrido para a construção física do projeto.

Terceiro capítulo Desenvolvimento do Projeto: encontra-se a construção lógica do projeto estabelecendo a ligação com a parte teórica.

E finalmente, as Considerações Finais: apresenta uma retomada dos assuntos abordados, análises dos resultados obtidos, apontamentos das relações entre os fatos verificados e as teorias, conquistas alcançadas, destaques dos pontos fortes e fracos e possíveis sugestões para futuros estudos.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo encontra-se a teoria de autores renomados que dão sustentação ao desenvolvimento do projeto Automação Aplicada a Manutenção: monitoramento de motores elétricos.

1.2 Manutenção

Segundo a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462:1994, p.7), manutenção é: “[...] combinação de todas as ações técnicas destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Tavares (2006) relata que a razão de ser da manutenção está em gerar condições operacionais para que equipamentos, instalações e serviços funcionem adequadamente, visando atingir objetivos e metas da empresa atendendo assim, aos clientes, ao mais baixo custo, sem perda da qualidade.

Souza (2009) aponta que no início do século XIX a manutenção industrial teve seu surgimento da indústria mecanizada. Os equipamentos eram simples e a manutenção era realizada pelo próprio pessoal da produção. Em 1920 após a primeira Guerra Mundial, a produção passa a ser constante, a mecanização industrial aumenta e os equipamentos se tornam mais complexos exigindo técnicas de manutenção mais confiáveis e de profissionais com conhecimento e dedicação exclusiva para a correção e prevenção de falhas.

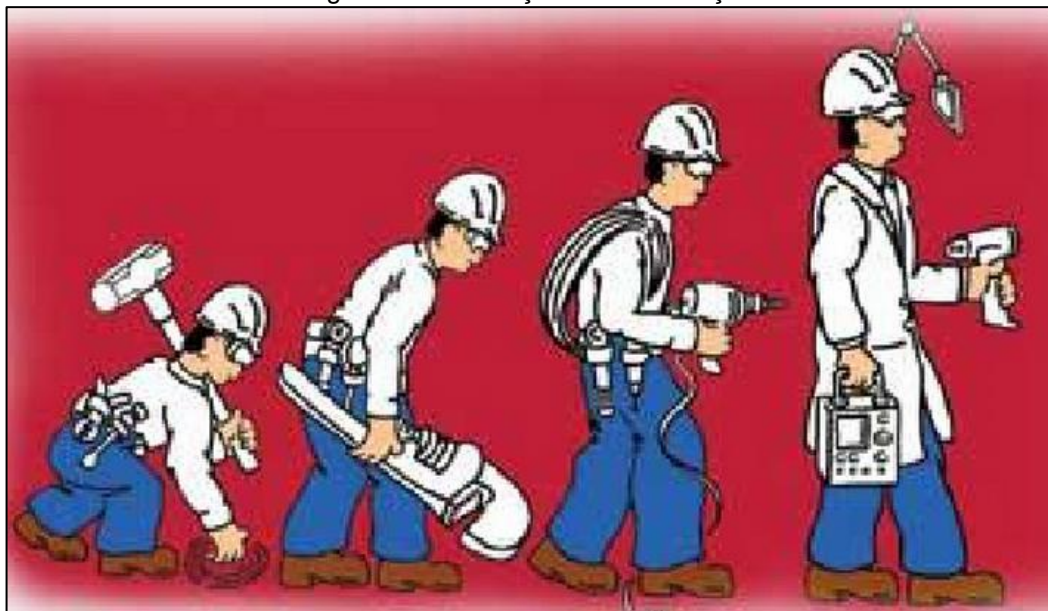
Em 1960 os conceitos da Engenharia da Confiabilidade, da Engenharia Econômica e da Estatística são incorporados há manutenção. Com o aperfeiçoamento dos sistemas de informação, dos sistemas de controle e com o surgimento dos computadores, a manutenção começa a seguir critérios de previsão de falhas.

Zaions (2003) relata que devido à necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos para se garantir maior produtividade, as condições de funcionamento das máquinas passaram a ser inspecionadas e monitoradas regularmente.

Kardec e Nascif (2004) relatam que em 1970 o sistema *Just in time*, traz a ideia de que pequenas pausas de produção poderiam comprometer o atendimento da demanda em razão dos baixos estoques mantidos.

Nakajima (1989) descreve que a manutenção produtiva total TPM (*Total Productive Maintenance*), tem como objetivos principais a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais como máquinas e equipamentos e em termos humanos, aprimorando as capacitações pessoais, envolvendo conhecimento, habilidades e atitudes de seus colaboradores, como exemplifica a figura 1.1.

Figura 1.1 – Evolução da manutenção



Fonte: www.abraman.org.br, 2014

Souza (2009) relata que em 1980 os microcomputadores e os respectivos processos de informações são associados à manutenção e assim surgiram os primeiros softwares de gerenciamento.

A partir de 1990 iniciou-se o desenvolvimento de sistemas computadorizados de gerenciamento de manutenção com o objetivo de planejar as manutenções preventivas e preditivas através de geração de ordens de serviços, tais como: suportes lógicos e controle de peças em estoque. A seguir, são apresentados alguns dos principais tipos de manutenção presentes na área industrial.

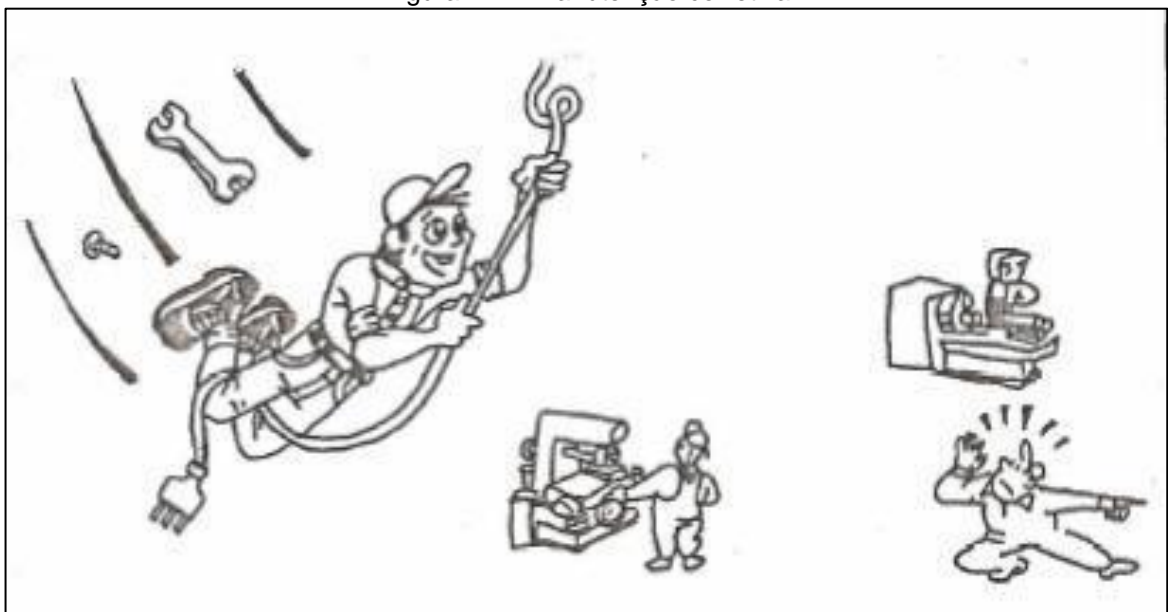
1.1.1 Manutenção corretiva

A ABNT (NBR 5462:1994, p.7), define manutenção corretiva como “[...] manutenção efetuada após ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condição de executar uma função requerida”.

Tavares (2006) aponta que a manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes:

Primeira classe: manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória, após a ocorrência do fato. Esse tipo de manutenção provoca altos custos, visto que causa perdas de produção e maiores danos aos equipamentos. A figura 1.2 ilustra a manutenção corretiva.

Figura 1.2 – Manutenção corretiva



Fonte: www.abraman.org.br, 2014

Segunda classe: manutenção corretiva planejada é a correção em função de um acompanhamento preditivo, detectivo, ou pela decisão gerencial de se operar até a falha. É mais barato, mais seguro e mais rápido.

1.1.2 Manutenção preventiva

Conforme as normas da ABNT (NBR 5462:1994, p.7), a manutenção preventiva é definida como “[...] manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação”.

1.1.3 Manutenção preditiva

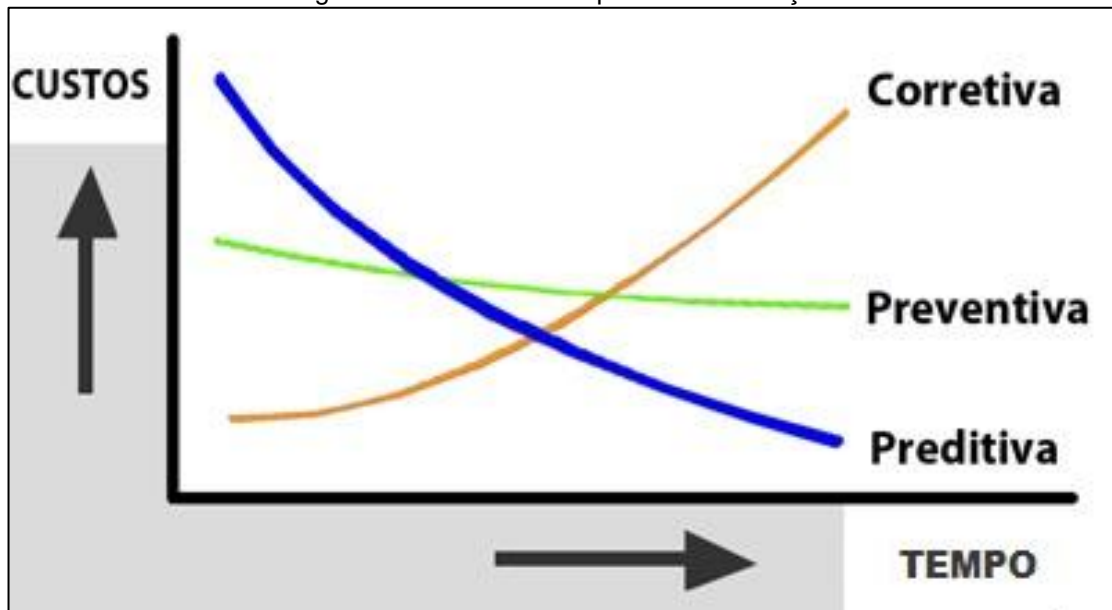
Conforme a ABNT (NBR 5462:1994, p.7), manutenção preditiva é definida “[...] como manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem”.

Tavares (2006) relata que manutenção preditiva é um conjunto de atividades de acompanhamento das variáveis ou parâmetros que indicam o desempenho dos equipamentos, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção. Esse tipo de manutenção é conhecido com CBM (*Condition Based Maintenance* ou manutenção baseada na condição). Permite que os equipamentos operem por mais tempo e a intervenção ocorra com base em dados e não em suposições.

A manutenção preditiva tem como principal objetivo determinar antecipadamente quando será necessário realizar serviços de manutenção numa peça específica de um equipamento. Tendo como principais vantagens a eliminação de desmontagens desnecessárias para inspeção, o aumento do tempo da disponibilidade dos equipamentos e a confiabilidade de um equipamento ou linha de produção, minimizando trabalhos de emergência ou não planejados, impedindo a propagação dos danos e assim tendo um maior aproveitamento da vida útil total dos

componentes de um equipamento. Todos estes objetivos são fundamentais para o fator mais importante que é a redução de custos de manutenção, conforme mostra a figura 1.3.

Figura 1.3 – Custos dos tipos de manutenção

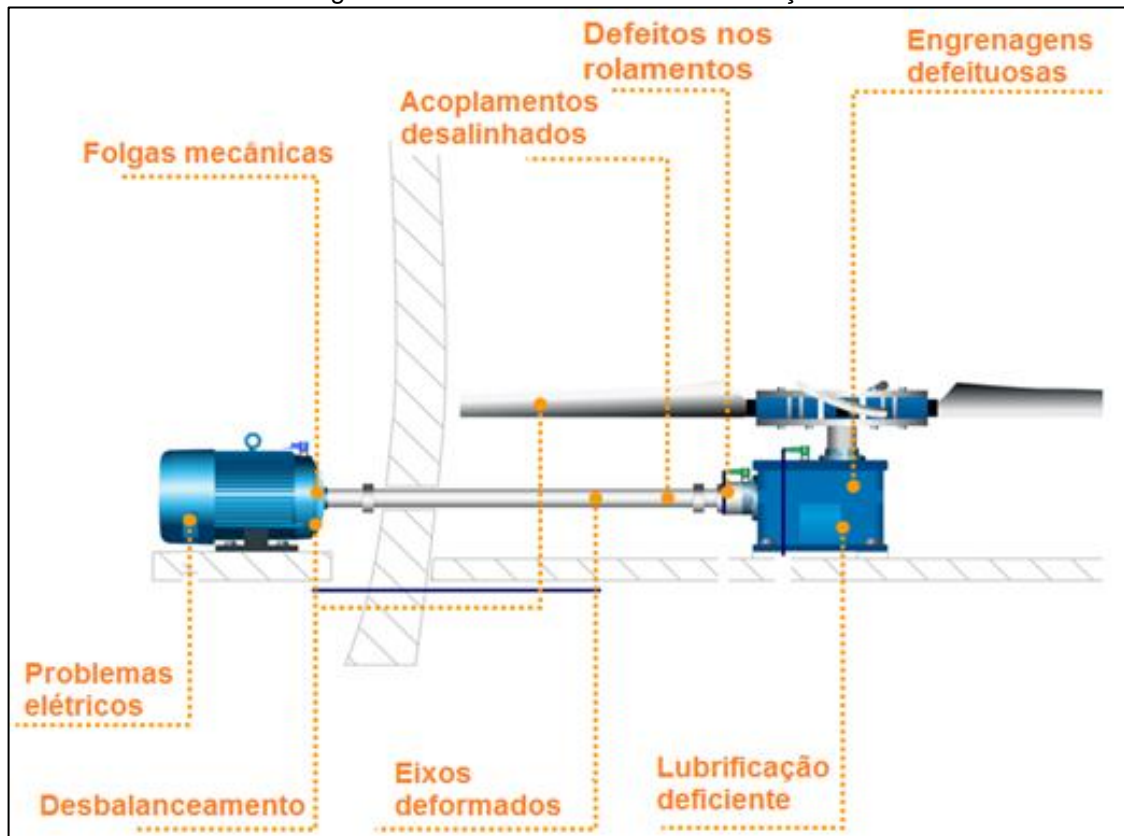


Fonte: www.soletecnica.com.br, 2014.

Sinha (2006) relata que manutenção preditiva por medições e análises de vibrações consiste no controle efetuado continuamente com instrumental de medição próprio das condições de funcionamento de máquinas em operação, com a finalidade de prever falhas e detectar tais mudanças no estado físico que tornem necessária a programação dos serviços de manutenção com a antecedência necessária para evitar falhas ou colapso.

Tavares (2006) aponta que por meio da medição e análise da vibração de uma máquina em serviço é possível detectar falhas que podem ser relacionadas à: rolamentos deteriorados, engrenagens defeituosas, acoplamentos desalinhados, rotores desbalanceados, eixos deformados, lubrificação deficiente, problemas elétricos em motores e folgas mecânicas, conforme mostra a figura 1.4.

Figura 1.4 – Falhas relacionadas à vibração



Fonte: www.weg.com.br, 2014.

As vibrações são medidas através de sensores fixados nos mancais da máquina, detectando-se vibrações absolutas na carcaça. Os mancais são os pontos escolhidos para serem feitas as medidas, pelo fato de serem mais sensíveis às mudanças mecânicas ocorridas nas máquinas.

1.1.4 Manutenção detectiva

Tavares (2006) relata que manutenção detectiva tem sua atuação efetuada em sistemas de proteção ou comando buscando detectar principalmente falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Exemplificando: o circuito que comanda a entrada de um gerador; teste em alarmes de níveis, teste em moto-geradores reservas, testes em moto-bombas reservas e testes em válvulas de segurança.

Pinto e Nascif (2002) aponta que uma grande vantagem da manutenção detectiva é a verificação do sistema sem parada de operação, possibilitando uma

correção da não conformidade encontrada com o sistema em operação. Sua desvantagem consiste na necessidade do uso de modernos sistemas de controle e automação e a excelência dos profissionais com treinamento e com habilitação para execução do trabalho. Esse tipo de manutenção é novo e, por isso mesmo, muito pouco difundido no Brasil.

1.2 Motor elétrico

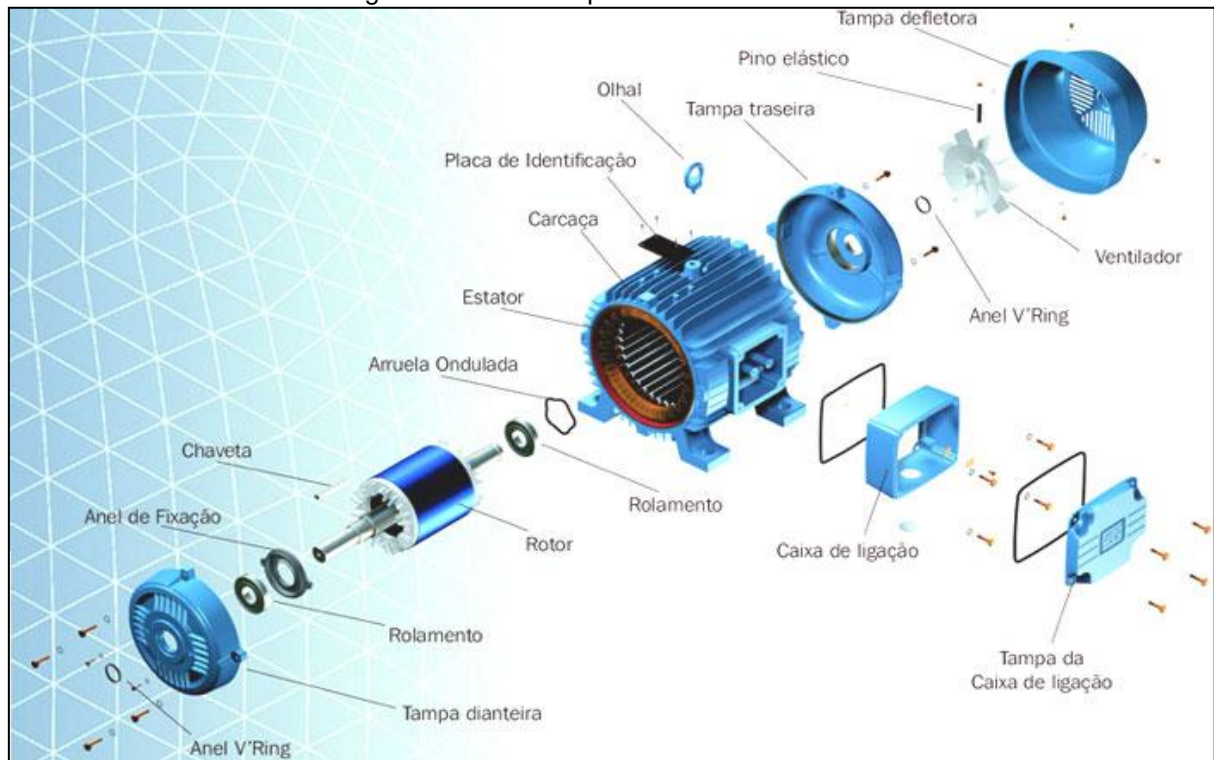
Francisco (2009) relata que o motor elétrico é um dispositivo cuja finalidade é transformar a energia elétrica nele aplicada em energia mecânica através de interações eletromagnéticas entre as partes que o constituem. Independente do modo de fabricação, o princípio básico de funcionamento dos motores é o mesmo: alimenta-se a parte fixa do motor com energia elétrica, criando-se ali um eletroímã cujo campo magnético varia. Esse campo magnético variável criará uma força capaz de gerar a rotação no eixo do motor.

Segundo a WEG (2013) o motor elétrico é composto principalmente por duas partes fundamentais:

- o estator que é a parte fixa do motor elétrico, geralmente é constituído por um núcleo de chapas finas de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas. As chapas têm a forma de um anel com ranhuras internas que servem para acomodar os conjuntos de bobinas, ou simplesmente enrolamentos, que irão criar o campo girante. E pela carcaça que é a estrutura suporte do conjunto e que também tem a finalidade de conduzir o fluxo magnético;
- o rotor que é o componente rotativo do motor elétrico. Basicamente composto pelo eixo e por um núcleo prensado de chapas de aço silício que é responsável por transmitir a potência mecânica gerada pelo motor. O rotor é igualmente constituído por um núcleo de chapas magnéticas quase sempre com as mesmas características das chapas do estator. Essas chapas são ranhuradas externamente para acomodar as bobinas do rotor, ou mais comumente as barras que fazem o papel das bobinas.

Outras partes que compõe o motor elétrico são tampa lateral, ventoinha, tampa defletora, terminais e rolamentos. A figura 1.5 mostra uma vista explodida do motor elétrico.

Figura 1.5 – Vista explodida do motor elétrico



Fonte: www.weg.com.br, 2014

Del Toro (1994) relata que vida útil do motor elétrico depende quase que exclusivamente da isolação dos enrolamentos que pode ser afetada por vários fatores, entre eles a temperatura, vibração, umidade. Sem duvida um dos fatores mais importante é a temperatura do material de isolamento utilizado, pois um aumento de 8 a 10 graus na temperatura de trabalho de enrolamento pode diminuir em 50% a vida útil do motor.

Antoniolli (1999) relata que os rolamentos tem recebido tratamento especial pelas técnicas de monitoramento de vibrações, principalmente os rígidos de esfera, pois são usados em grandes quantidades e requerem cuidados de montagem e de manutenção que nem sempre são seguidos corretamente, levando-os frequentemente a sofrer danos, geralmente irreparáveis.

1.3 Vibração mecânica

Girdhar e Scheffer (2004) relatam que a vibração é um movimento periódico e harmônico e a posição da massa em função do tempo possui características senoidais.

Sinha (2010) aponta que a vibração de um sistema mecânico é uma troca contínua entre energia cinética e energia potencial. O nível de vibração é reduzido pela presença de elementos de dissipação de energia no sistema. O problema da vibração é acentuado devido à presença de excitações externas variantes no tempo, por exemplo, o problema de ressonância em uma máquina rotativa, que é causada pela presença de um desequilíbrio do rotor. Há muitas situações em que as vibrações são causadas pela excitação interna, que é dependente do nível de vibrações. Logo podemos dizer que um corpo acumula energia na forma de vibração, até que seja integralmente dissipada.

Murphy, Vance e Zeidan (2010) relatam que as fontes de vibração mais comuns em máquinas rotativas estão habitualmente relacionadas com a inércia de partes móveis da máquina. A maioria das máquinas possuem eixos e rodas que não podem ser perfeitamente balanceadas, consequentemente segundo a 2ª lei de Newton, como reação, são geradas forças rotativas nos suportes dos rolamentos, essa força rotativa irá causar uma aceleração centrípeta no centro de massa do rotor, provocando sua vibração. O desalinhamento do eixo e o desgaste dos rolamentos também são apontados como outros geradores de vibração em máquinas.

Mesmo sem nenhum desequilíbrio ou excitação presente, pode-se encontrar outro tipo de problema de vibração em máquinas, que pode ser produzido pela vibração natural característica, que é a frequência de valores próprios da estrutura da máquina e seus suportes. Em estruturas estáticas estas frequências naturais se tornam insignificantes devido à energia dissipada no amortecimento, mas em rotação específicas esta instabilidade pode se tornar maior.

Ainda Murphy, Vance e Zeidan (2010) relatam que a vibração pode ganhar mais amplitude se a frequência de rotação do rotor estiver próxima de uma das frequências naturais da estrutura da máquina, chamada de ressonância do sistema. Devido a amplitude não variar com o tempo (a menos que não haja amortecimento), o movimento não é instável. Ressonância é uma condição especial onde alguma força externa excita continuamente alguma frequência natural do objeto, agravando os seus níveis de vibração. Toda estrutura real tem um número infinito de frequências naturais, mas muitos problemas de máquinas de vibração envolve apenas uma dessas frequências.

Sinha (2010) relata que a amplitude da vibração está diretamente relacionada ao nível de gravidade de um defeito que se inicia na máquina, com a análise da vibração é possível determinar se é seguro manter esta máquina em operação. O objetivo da manutenção preditiva com o auxílio da análise de vibração é diagnosticar defeitos em um estágio inicial.

Marra (1998) destaca que os sistemas de instrumentação para análise periódica de vibração podem ser classificados em três níveis: análise de vibração de nível global (sem filtro), medidor de vibração com análise de frequência (com filtro) e analisadores de frequência por transformada de Fourier, que são apresentados a seguir.

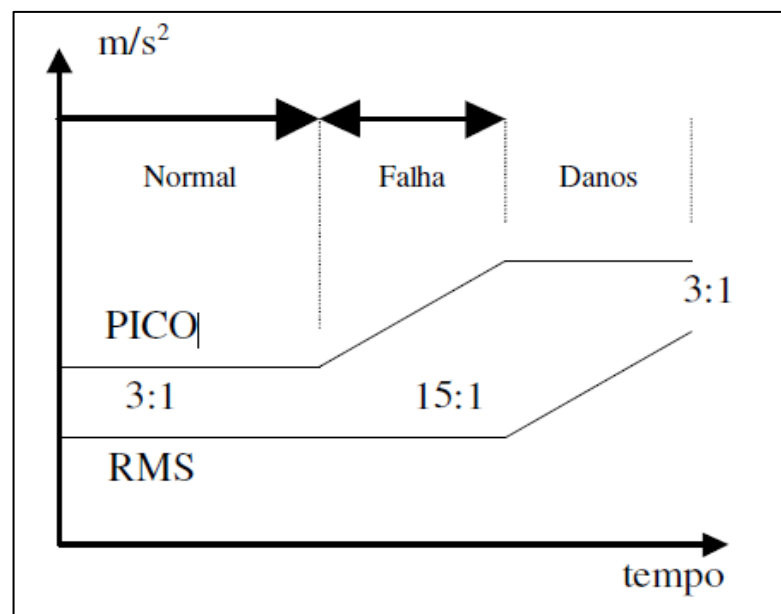
1.3.1 Análise de vibração de nível global

Lathi (2007) aponta que a análise de vibração de nível global é um instrumento capaz de analisar o valor global de vibração (pico ou RMS). Pelo seu funcionamento, este instrumento mede a vibração total decorrente da ação de todas as frequências atuantes no sinal de vibração, dentro de uma faixa considerada. As amostras das análises são comparadas com padrões gerais (Normas) ou valores de referências definidos para cada máquina.

Marra (1998) aponta que o analisador de vibração de nível global possui a capacidade de determinar o valor RMS ou valor de pico de velocidade,

deslocamento e em alguns casos a aceleração sobre uma faixa de frequência de 5 Hz a 5.000 Hz. Em estágios iniciais de falhas, os picos resultantes dos pulsos de vibração tem menor influência sobre o valor RMS, e maior influência sobre o valor de Pico. Em contra ponto, nos estágios mais avançados de falhas, os defeitos apresentam pouca influência sobre o valor de pico, porém o valor RMS, nesse momento, sofre grande alteração, conforme ilustra a figura 1.6.

Figura 1.6 – Comparação entre valor de pico e RMS



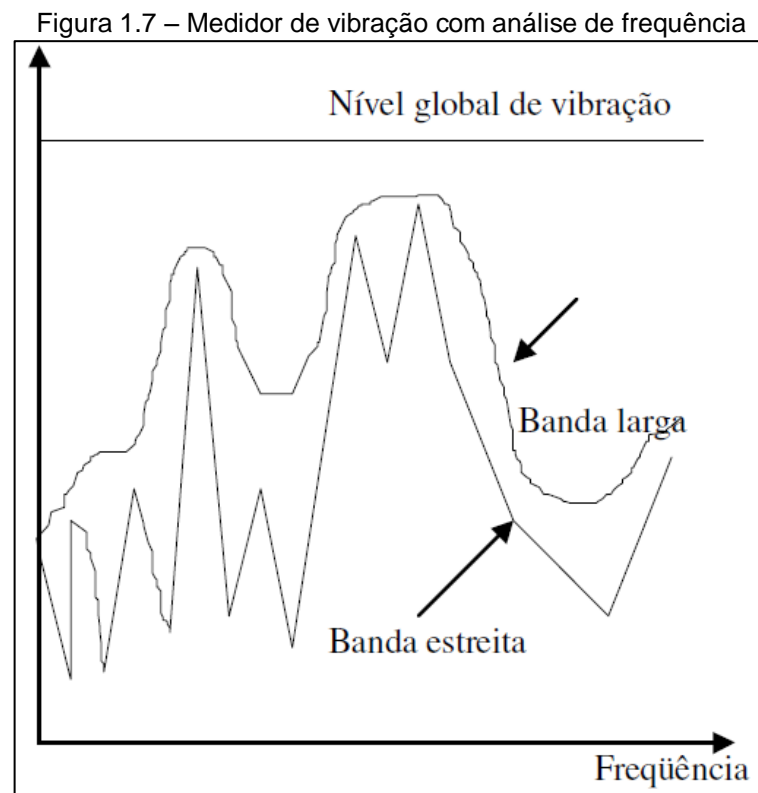
Fonte: TEKNIKAO, 2014

Este é um instrumento com grande capacidade de detecção de mau funcionamento de máquinas, porém possui capacidade limitada para a identificação e diagnóstico.

1.3.2 Medidor de vibração com análise de frequência

Marra (1998) relata que o medidor de vibração simples analisa o nível de vibração integral sobre uma faixa larga de frequência. O seu grau reflete o nível de vibração das componentes de frequência dominantes do espectro. Se o mesmo sinal de vibração é analisado em frequência e o espectro analisado em forma de gráfico, é revelado o nível de vibração de muitos componentes.

De modo geral, quanto mais estreita a banda de frequência da análise, mais precoce poderão ser constatadas as falhas em desenvolvimento. Mas por outro lado exige mais tempo de análise. A figura 1.7 mostra um medidor de vibração com análise de frequência.



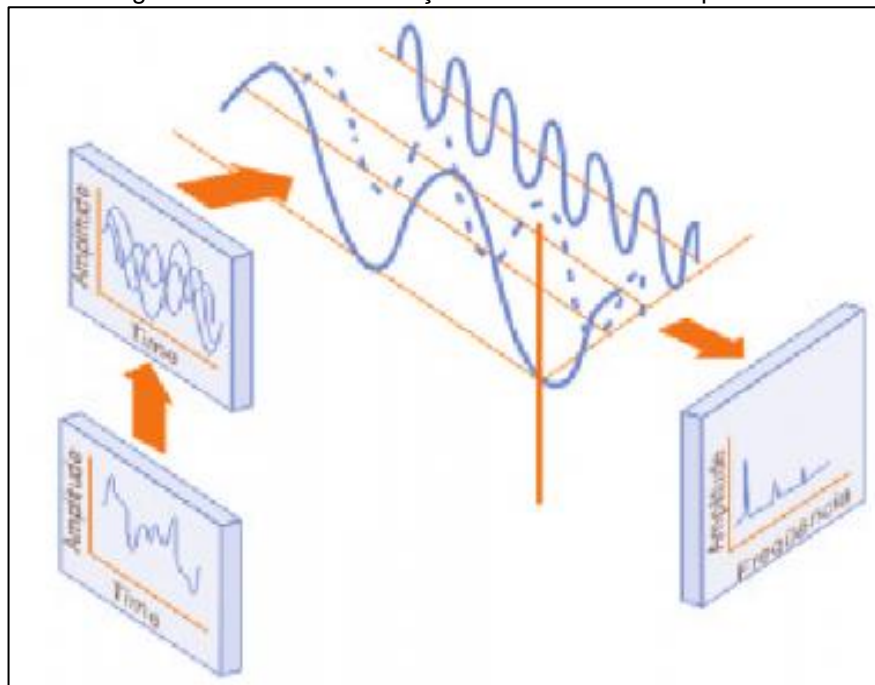
Fonte: TEKNIKAO, 2014

Lathi (2007) relata que detecção de falhas em etapas iniciais, simultaneamente com o diagnóstico e previsão de uma falha futura somente é possível com o uso de instrumentos capazes de detectar as frequências presentes no sinal de vibração. Por intermédio do estudo da máquina analisada é possível correlacionar cada componente da frequência, com o comportamento dinâmico dos elementos de máquina. A capacidade de separação de frequências depende da largura do filtro utilizado pelo instrumento. Os aumentos de níveis em componentes da frequência fornecem indicação de defeitos, mas também a frequência em que elas ocorrem aponta qual parte da máquina está se deteriorando.

1.3.3 Analisadores de frequência por transformada de Fourier

Marra (1998) relata que como o sinal de vibração é constituído por varias frequências deve-se aplicar a Transformada de Fourier especificamente a FFT (Transformada rápida de Fourier) o que possibilita analisar o espectro de frequência da vibração. A transformada de Fourier permite analisar de forma adequada sinais aleatórios, periódico ou transitório, numa série de Fourier equivalente, denominado espectro de frequência. Este instrumento baseia-se na propriedade de que qualquer sinal pode ser decomposto numa série infinita de componentes de frequência que representa o mesmo sinal no domínio da frequência. Um sinal de domínio de frequência é impresso com o eixo vertical (Y) como a amplitude e o eixo horizontal (X) como a assinatura de frequência, conforme figura 1.8.

Figura 1.8 – Sinal de vibrações no domínio da frequência

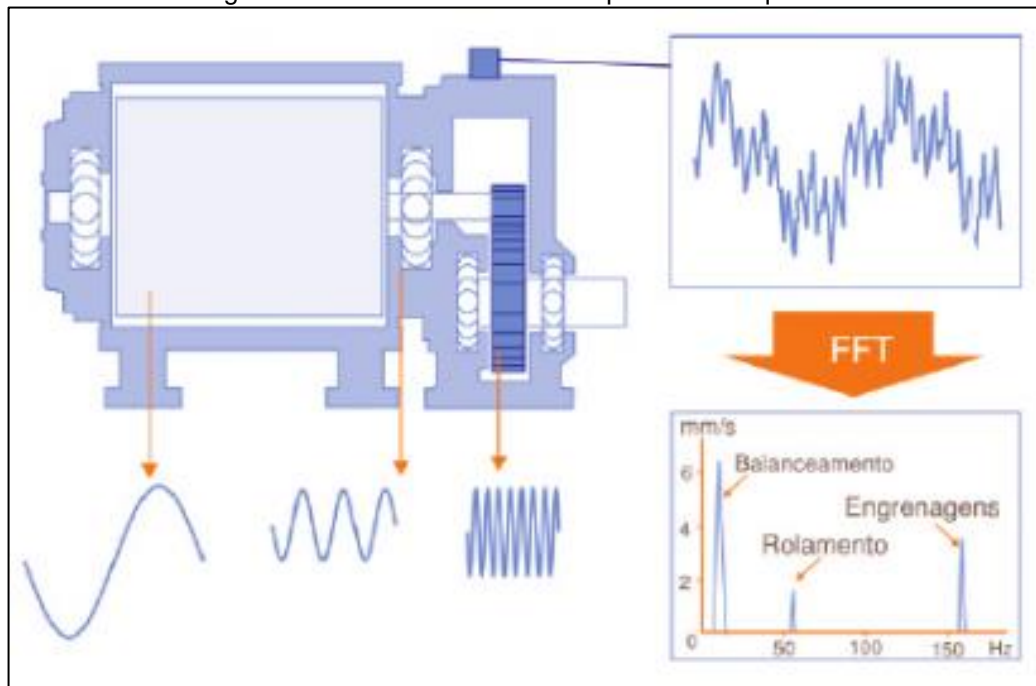


Fonte: www.sabereletronica.com.br, 2014

Lathi (2007) relata que o sinal de entrada é composto de muitas ondas de senos diferentes. A Transformada rápida de Fourier apanha estas ondas de senos complexas e as separa em ondas de seno por componente. Estas ondas de seno separadas são projetadas no eixo da frequência e temos um espectro.

Marra (1998) relata que a utilização desse tipo de instrumento permite que seja levantado o espectro de frequência de referência para cada ponto de medida denominada “Assinatura de Máquina ou *Baseline*”. Dessa forma é possível comparar espectros de frequência de máquinas que apresentem anomalias com seus espectros de referência, identificar as alterações, relacioná-las com as frequências características de falhas dos diversos elementos de máquinas, e assim, proceder ao diagnóstico, conforme mostra a figura 1.9.

Figura 1.9 – Análise através do espectro de frequência



Fonte: www.sabereletronica.com.br, 2014

1.3.4 Monitoração de vibração

Segundo Marra (1998) o colaborador da manutenção de uma planta industrial realiza as medições nas quais a manutenção é baseada. Estes são instruídos com o objetivo da monitoração da condição e como ela pode racionalizar a manutenção. São selecionadas as máquinas a serem monitoradas e os pontos de medidas são identificados e preparados para a fixação fácil do transdutor de vibração. A figura 1.10 mostra a captação de dados.

Figura 1.10 – Captação de dados



Fonte: www.emersonnetworkpower.com.br, 2014

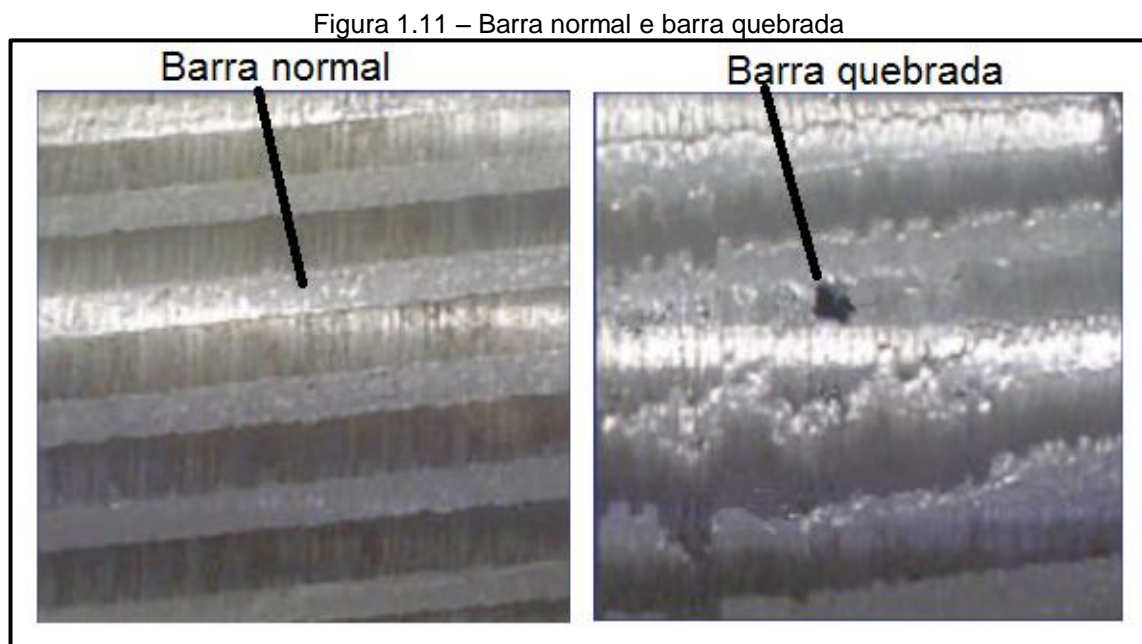
O sequenciamento na qual cada máquina e ponto de medida devem ser monitorados é especificado no relatório de medida junto com as informações sobre as condições de funcionamento necessárias. É importante que medidas subsequentes sejam feitas na mesma condição de operação. Da mesma forma, devem ser registrados e informados os ajustes necessários para o instrumento medidor de vibração, para cada máquina, em função de suas características previamente conhecidas, para que todos os registros sejam obtidos nas mesmas condições de medida.

Murphy, Vance e Zeidan (2010) apontam que em máquinas específicas a monitoração permanente é empregada principalmente para dar avisos imediatos de uma alteração repentina na condição de trabalho da máquina, que tem custo elevado de reparo e não possuem *backup* na planta industrial ao qual está instalada, cuja continuidade de operação é vital para o processo de produção.

As falhas são detectadas imediatamente e dispara um alerta na sala de controle da planta, para que medidas apropriadas possam ser tomadas antes que falhas catastróficas ocorram. Esses sistemas são largamente empregados em indústrias de geração de energia, petroquímica, usinas nucleares, turbinas, bombas de alimentação de caldeiras e compressores de gás.

1.4 Análise de corrente de motores elétricos

Almeida (1996) aponta que o objetivo da análise de corrente em motores tem como principal alvo detectar barras quebradas ou trincadas e ainda, desbalanceamento de tensão, subtensão e sobretensão. Em um motor de indução trifásico com rotor de gaiola, barras quebradas alteram o fluxo magnético, fazendo flutuar a frequência do rotor e, em consequência a rotação e a corrente do motor. A figura 1.11 mostra a diferença entre um rotor com uma barra normal e outra quebrada.



Fonte: www.weg.com.br, 2014

Walliser e Landy (1994) apontam que o aparecimento de barras quebradas no rotor irá causar o aumento das componentes da corrente do estator relacionada com a frequência característica. A detecção de barras quebradas ou trincadas através do espectro da corrente do estator é feita com base na análise das duas componentes do espectro que se localizam próximas e em torno da frequência de rede. A análise é feita nas bandas laterais espaçadas de duas vezes a frequência de escorregamento (f_s) em torno da frequência de linha também chamada de frequência de rede ($f_R = 60 \text{ Hz}$), conforme equação 1, sendo que o espectro de corrente deve ser plotado com as frequências em [Hz] e as amplitudes em [dB].

$$f_s = \frac{(fn - f_{RR})}{fn} 60 = \frac{(ns - nn)}{ns} 60 \text{ [Hz]} \quad \text{Equação [1]}$$

onde:

f_s : frequência de escorregamento;

nn : rotação nominal [rpm] = **f_{RR}** : frequência de rotação [Hz];

ns : rotação síncrona [rpm] = **fn** : frequência nominal [Hz].

Thompson (2001) relata que a quebra de barras não leva o motor imediatamente à falha, a máquina poderá continuar funcionando mesmo com a existência de barras quebradas ou trincadas. Contudo, efeitos secundários consideráveis poderão ocorrer como, por exemplo, as barras quebradas atingirem o estator causando uma excessiva vibração, ruídos e faiscamento durante a partida do motor. Na medida em que aumenta o número de barras quebradas a diferença em “dB” da banda lateral de 2 x frequência de escorregamento em torno da frequência de rede = 60 Hz diminui. Quanto maior for esta diferença, maior será o número de barras quebradas ou trincadas. Isto ocorre devido à alteração da uniformidade do campo magnético.

Baseado na *Liberty Technologies Inc., Pensylvania* e nos espectros coletados, onde f_R é a frequência de rede (Hz), p é o número de pólos e $s^\#$ é o escorregamento em Hertz. A figura 1.12 mostra a severidade e recomendações para a análise de corrente.

Figura 1.12 - Severidade e recomendações para a análise de corrente

$f_R - p \times s^\#$	Avaliação da Condição	Ação Recomendada.
50 dB ou mais	▪ Excelente	▪ Nenhuma
44 a 50 dB	▪ Boa	▪ Nenhuma
39 a 44 dB	▪ Moderada	▪ Continuar inspeção ▪ Analisar somente a tendência
35 a 39 dB	▪ Desenvolvendo trinca na barra do rotor ▪ Juntas com alta resistência	▪ Reduzir intervalo de inspeção ▪ Observar curva de tendência
30 a 35 dB	▪ Provavelmente duas barras trincadas ou quebradas ▪ Provavelmente juntas de altas resistências	▪ Fazer análise espectral de vibrações para confirmar a fonte do problema
25 a 30 dB	▪ Muitas barras trincadas ou quebradas ▪ Várias trincas nos anéis de curto ▪ Falhas severas em toda gaiola	▪ Desmontar o rotor para inspeção
Menos de 25 dB	▪ Severa	▪ Desmontar ou substituir o rotor para inspeção

Fonte: www.libertylts.com, 2014.

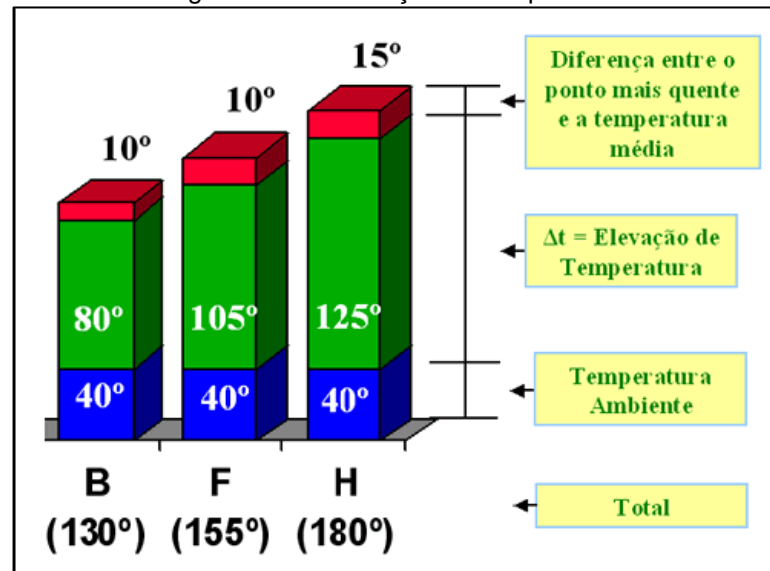
1.5 Análise de temperatura de motores elétricos

Obenhaus (1987) aponta que a temperatura possui importante papel como indicador do estado de funcionamento de motores. A correta monitoração da temperatura melhora o desempenho da máquina. Muitos fatores podem contribuir para o superaquecimento de um motor, entre eles se destaca se o motor está trabalhando com rolamento danificado, falhas no sistema de ventilação, sobrecarga, eixo desalinhado, ciclo de trabalho excessivo, altitude, oscilação na potência de alimentação, entre outras.

Brancato (1992) relata que um aquecimento descometido e prolongado levaria a diminuição da vida útil de um motor. Os dois elementos mais afetados são os rolamentos e o sistema de isolamento. A temperatura elevada de um motor pode também diminuir a viscosidade do óleo ou graxa nos rolamentos. Com a análise contínua da temperatura pode-se saber se o motor está funcionando em boas condições ou se apresenta alguma anomalia.

Del Toro (1994) relata que a temperatura do enrolamento do motor, durante o seu funcionamento, é a resultante da soma de dois fatores: o primeiro, representado pela temperatura ambiente do local em que o motor se encontra instalado; o segundo, pela elevação de temperatura que ocorre durante a operação do motor, que se dá devido às perdas que são geradas durante o processo de transformação da energia elétrica em energia mecânica. Estas perdas ocorrem nos núcleos de aço do estator e do rotor, nos enrolamentos do estator e do rotor e no atrito entre as partes móveis e as partes fixas do motor. Assim, se a temperatura do motor é 150°C e a temperatura ambiente do local da instalação é de 40°C , a sua elevação de temperatura terá sido de 110°C . A figura 1.13 ilustra a elevação de temperatura, onde B, F, H são classes de isolamento.

Figura 1.13 – Elevação de temperatura



Fonte: www.weg.com.br, 2014

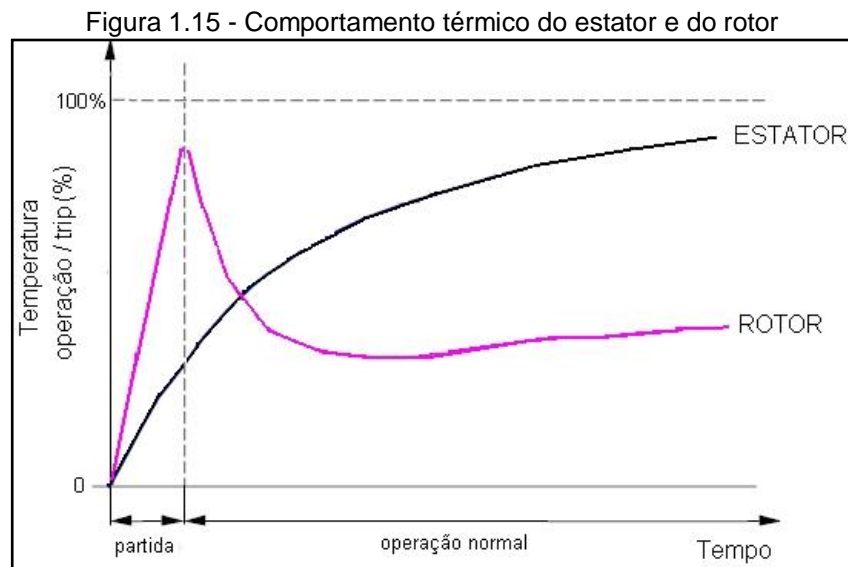
Del Toro (1994) ressalta ainda que a elevação de temperatura se define como a subtração entre a temperatura do motor e a temperatura do ambiente. Quando tem um motor funcionando e sua temperatura é igual à temperatura limite da classe de isolamento, significa que está utilizando toda a sua capacidade térmica. Quando o trabalho se dá acima do valor regulamentado, começa-se a danificar a resina utilizada para o isolamento das partes sobtensão do motor. Se um motor dissipar tanto calor quanto gerado dentro da sua capacidade térmica, este está em equilíbrio. A figura 1.14 mostra o resultado da falha um motor por sobreaquecimento.

Figura 1.14 – Falha por sobreaquecimento



Fonte: www.idealmanutencao.com.br, 2014.

Contudo, se houver uma variação na tensão de alimentação do motor, esse equilíbrio é perturbado visto que a queda de tensão diminui o fluxo magnético e assim o motor, conseqüentemente, vai requerer mais corrente para manter o escorregamento, com o aumento da corrente as perdas aumentam e o motor se aquece. A figura 1.15 mostra comportamento térmico do estator e o rotor durante o período de partida e de operação normal.



Fonte: www.osetoeletrico.com.br, 2014.

1.6 Sensores

Pallàs-Areny e Webster (2000) apontam que sensor é um dispositivo capaz de detectar/captar ações ou estímulos externos e responder em consequência. Estes aparelhos podem transformar as grandezas físicas ou químicas em grandezas elétricas. A seguir, são apresentados alguns dos principais tipos de sensores usados na captação de dados presentes na área industrial com a finalidade de auxiliar determinados tipos de manutenção.

1.6.1 Sensor de temperatura

Segunda Fialho (2003) o sensor de temperatura é composto por dois tipos de metais que variam conforme o tipo e área de aplicação. A variação da temperatura causada nestes dois metais ocasiona o aparecimento de uma DDP (diferença de potencial elétrico) da ordem de mV. Este princípio é conhecido como efeito *Seebeck*

que é a geração de eletricidade a partir da diferença de temperaturas. Existem vários tipos de termopar como mostra a figura 1.16.

Figura 1.16 – Tipos de termopares

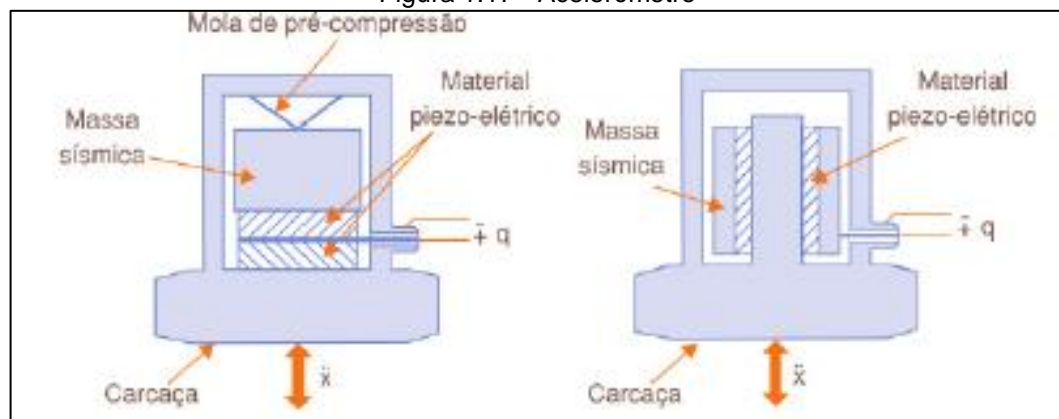
TABELA DE TEMPERATURA MÁXIMA / BITOLA DO FIO				
TIPO DE TERMOPAR	BITOLA 8 AWG (\varnothing 3,26mm)	BITOLA 14 AWG (\varnothing 1,63mm)	BITOLA 20 AWG (\varnothing 0,81mm)	BITOLA 24 AWG (\varnothing 0,51mm)
T	-	370°C	260°C	200°C
J	760°C	590°C	480°C	370°C
E	870°C	650°C	540°C	430°C
K	1260°C	1090°C	980°C	870°C
S/R	-	-	-	1480°C
B	-	-	-	1700°C

Fonte: www.thermomax.com.br, 2014.

1.6.2 Sensor de vibração

Taylor (2000) relata que para a captação de vibrações, são utilizados sensores a que chamados de transdutores de vibração mecânica. Existem vários tipos de sensores usados para esta finalidade, sendo o acelerômetro o mais utilizado devido à sua enorme versatilidade. O princípio de funcionamento do transdutor de aceleração baseia-se nos cristais piezoelétricos, esses acelerômetros quando são sujeitos à compressão, geram um pequeno sinal elétrico proporcional à aceleração. A figura 1.17 ilustra o funcionamento de um acelerômetro.

Figura 1.17 - Acelerômetro

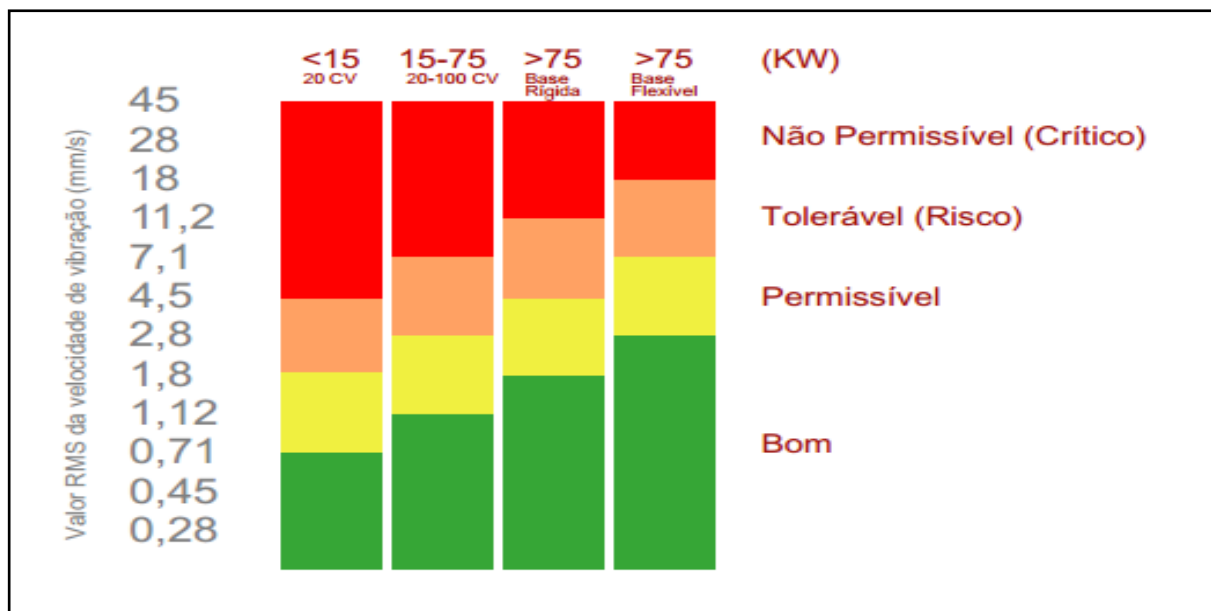


Fonte: www.mecatronicaatual.com.br, 2014.

A resposta de frequência de um acelerômetro é dada a partir de sua curva característica onde os valores são proporcionais à vibração na qual é submetido e será limitada nas altas frequências pela ressonância de montagem do acelerômetro. A grande vantagem deste tipo de acelerômetros é sua vasta gama de frequências utilizáveis que varia de 1 a 10 000 Hz ainda existindo modelos que podem medir baixas frequências podendo chegar até 0,02 Hz.

Os acelerômetros trabalham com um intervalo de frequência abaixo da sua primeira frequência natural. Tendo sua sensibilidade medida em milivolts por unidade de aceleração “g” que é aproximadamente constante até 20% da frequência de ressonância. Por esse princípio, é oportuno o uso do acelerômetro até este limite superior de frequência. Com isso é possível criar uma correlação da vibração com a potência dos motores, como mostra a figura 1.18.

Figura 1.18 - Critério de severidade de vibração em máquinas rotativas



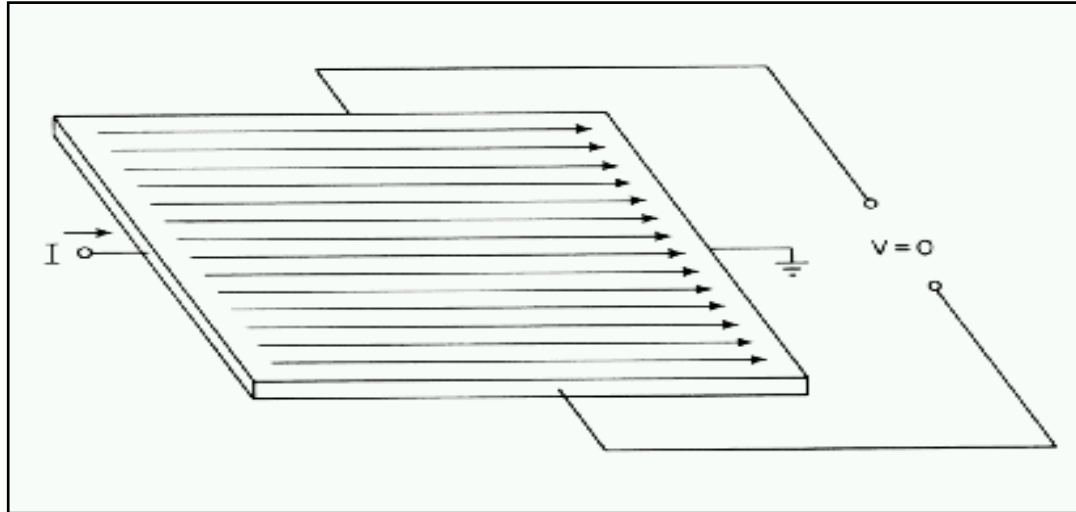
Fonte: www.gpro.ind.br, 2014

1.6.3 Sensor de efeito hall

Fialho (2003) relata que para o monitoramento da corrente elétrica utiliza-se um sensor baseado no efeito hall que se caracteriza basicamente pelo aparecimento de um campo elétrico transversal em um condutor percorrido por uma corrente elétrica. Quando o sensor se encontra mergulhado em um campo magnético onde

um filme de material semiconductor é percorrido por uma corrente elétrica constante onde a distribuição da corrente é uniforme sem existir diferença de potencial na saída. A figura 1.19 aponta o princípio de funcionamento do sensor hall.

Figura 1.19 – Princípio de funcionamento do sensor hall



Fonte: www.eletrica.ufpr.br, 2014.

1.7 Instrumentação virtual

Samuthi e Surekha (2007) relatam que um sistema de instrumentação virtual é um *software* desenvolvido com a finalidade de criar um processo de testes e medição computadorizada, aplicado com o intuito de controlar via *software* um *hardware* de medição e exibir os dados de testes e medições na tela de um computador. Com instrumentos virtuais, engenheiros e pesquisadores constroem sistemas de medição que se adequam exatamente às suas necessidades ao invés de estar limitado pelas funções fixas dos instrumentos tradicionais.

Os dados de medição e dos testes são coletados pelo *hardware* que faz a interface com o computador. Instrumentação virtual também se estende aos informatizados sistemas de controle de processos com base nos dados coletados e processados por um sistema de instrumentação.

O módulo sensor detecta o sinal físico e o converte em sinal elétrico, efetua o condicionamento do sinal e o converte em um formato digital para futura manipulação. Por intermédio de uma interface do sensor, o módulo de sensor se comunica com um computador. Uma vez que os dados estão convertidos para o formato digital de um computador estes dados podem ser processados, misturados, usados em comparações, e manipulados de inensuráveis formas ou armazenados em um banco de dados. Em seguida, os dados podem ser exibidos, ou convertidos de volta à forma analógica para um maior controle do processo. Instrumentos virtuais são muitas vezes integrados com algum outro sistema de informação.

1.7.1 Arquitetura da instrumentação virtual

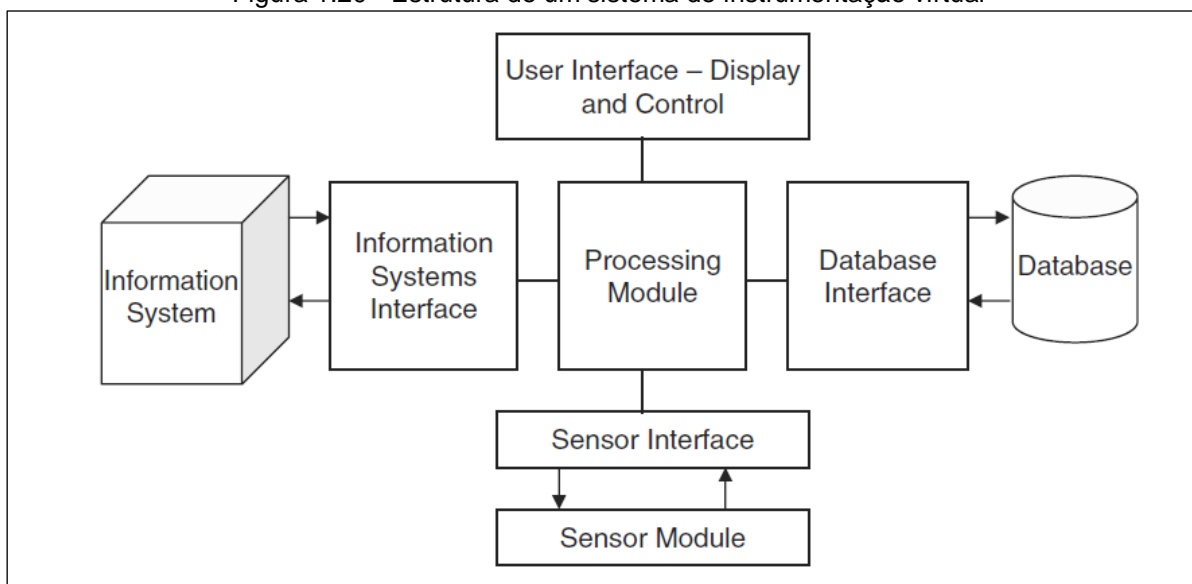
National Instruments (2012) relata que um instrumento virtual é composto dos seguintes blocos:

- módulo sensor: o módulo sensor detecta o sinal físico e o converte em sinal elétrico, realiza o condicionamento do sinal, e o transforma em um formato digital para futura manipulação;
- interface sensor: a interface do sensor é utilizada para a comunicação entre os módulos de sensores e o computador. Dependendo do tipo de ligação, as interfaces de sensores podem ser classificadas como com ou sem fio;
- interface de sistemas de informação: instrumentos virtuais estão cada vez mais integrados com outras informações. Desta forma, as definições de configuração e os dados medidos podem ser armazenados e associados com os registros disponíveis. Eles podem ser utilizados para dar alertas em tempo real e avisos preditivos;
- módulo de processamento: a função de processamento utilizado na instrumentação virtual podem ser classificados como o analítico ou de inteligência virtual, no processamento analítico as funções analíticas definem relações funcionais entre os parâmetros de entrada. Algumas das análises mais usadas em

instrumentação virtual incluem análise espectral, detecção de pico, ou ajuste de curva. As técnicas de inteligência artificiais podem ser usadas para aumentar e melhorar a eficiência, a capacidade, e as características de instrumentação em áreas de aplicação relacionadas com a medição e identificação do sistema e controle. Tecnologias artificiais de informação, tais como redes neurais e de lógica fuzzy são utilizadas em várias aplicações;

- interface de banco de dados: instrumentação computadorizada permite que os dados de medição sejam armazenados para fora da linha de processamento. Atualmente existem várias tecnologias de banco de dados disponíveis que podem ser utilizados para este fim;
- interface com o usuário: é uma parte fundamental de um *software* é a parte do sistema visível para o usuário, através da qual, ele se comunica para realizar suas tarefas. A figura 1.20 ilustra a estrutura de um sistema de instrumentação virtual.

Figura 1.20 - Estrutura de um sistema de instrumentação virtual



Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS, 2007.

1.8 LabVIEW

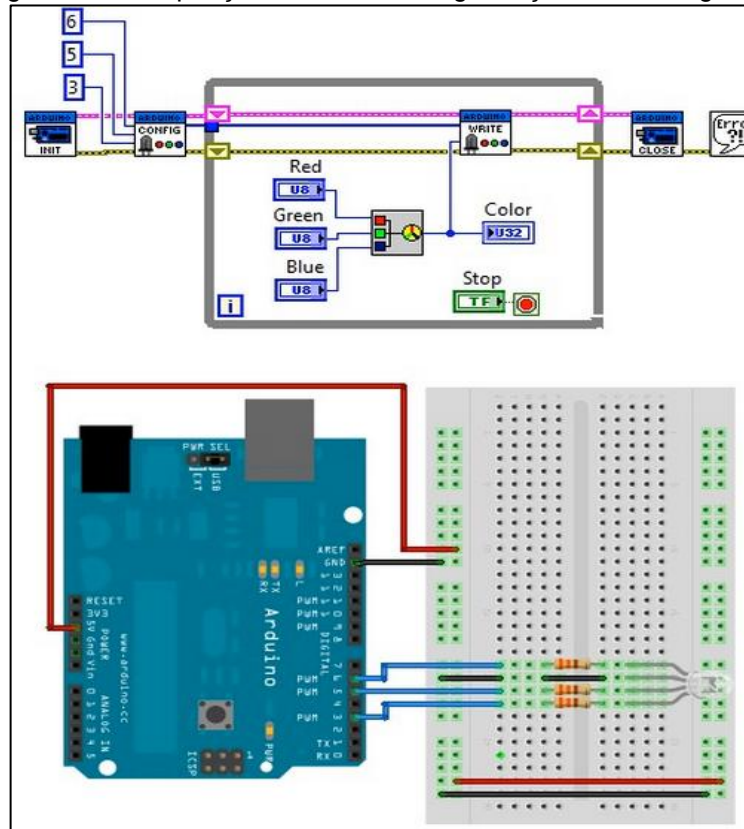
National Instruments (2012) descreve que o LabVIEW é um ambiente de programação gráfica utilizada para a criação de aplicações com interfaces de usuários profissionais. Com um conjunto abrangente de ferramentas que lhe permite desenvolver qualquer aplicação de medição sofisticada, fazer testes e controlar aplicações de sistemas.

Por imitar a aparência e a operação de instrumentos físicos os programas do *software* são chamados de instrumentos virtuais. O LabVIEW utiliza ícones para criar aplicações em vez de linhas de texto, chamada de programação gráfica. O fluxo de dados através dos nós do diagrama de blocos determina a ordem de execução do programa. O LabVIEW conta com bibliotecas abrangentes para o processamento de sinais e a visualização dos dados.

No LabVIEW pode-se adquirir dados de qualquer instrumento de bancada, por qualquer barramento, pois oferece integração com milhares de *hardwares*. Em muitos projetos, tais interfaces não necessitam de grandes capacidades para operar, mas precisam ser facilmente integráveis e apresentar um custo que não impacte no valor total do sistema.

Um *hardware* muito utilizado para fins de pequeno porte é o LabVIEW Interface para Arduino que é um Toolkit que permite aos desenvolvedores adquirir dados através da plataforma arduino e processá-lo no ambiente de programação LabVIEW gráfica. Esta interface permite o controle de sistemas no mundo real através de um *hardware* integrável, flexível e com baixo custo tendo como principal aplicação desta interface a integração com sistemas para aquisição de dados. A figura 1.21 mostra um exemplo de programação feita com o LabVIEW e sua interface de aquisição de dados.

Figura 1.21 – Aquisição de dados e Programação LabVIEW gráfica



Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS, 2014.

Ao longo do capítulo foram listados os principais tópicos referentes ao tema relacionado a manutenção industrial e sobre as ferramenta e tecnologias utilizadas no desenvolvimento do projeto. No próximo capítulo é apresentada toda a metodologia utilizada na elaboração do projeto.

2 METODOLOGIA

Este capítulo visa apresentar os passos metodológicos que norteiam o projeto Automação Aplicados a Manutenção: monitoramento de motores elétricos, com o objetivo de apontar os métodos utilizados, assim como os tipos de pesquisas e as técnicas adotadas.

Severino (2000) aponta que metodologia é o trajeto percorrido para relatar as etapas do projeto, onde é indicada a natureza do projeto e determinada sua problemática, que através da captação da bibliografia referente ao tema e sua leitura e decorrente documentação dá suporte a construção lógica e redação do projeto.

2.1 Problema e justificativa

O projeto intitulado Automação Aplicada a Manutenção: monitoramento de motores elétricos surgiu a partir da necessidade relatada pela empresa Kei-Tek Sistemas de Automação juntamente com a BPS Preditiva, o projeto consiste na construção de um sistema de instrumentação virtual que através dos dados coletados tem o objetivo de gerar análises capazes de contribuir na manutenção desses equipamentos.

Com esta ferramenta é possível coletar e analisar dados de temperatura, corrente e principalmente vibração em motores elétricos indicando de modo sistemático o desempenho destes equipamentos, visando definir a necessidade ou não de intervenção. O projeto tem como principal objetivo ter um baixo custo de implementação em relação aos sistemas disponíveis. Gerando para as indústrias economia, principalmente por evitar paradas não planejadas das linhas de produção que utilizem motores elétricos e aumentando a vida útil desses equipamentos.

2.2 Coleta e análise de dados e desenvolvimento do projeto

Após a determinação e entendimento da problemática do projeto e as argumentações que justificam a necessidade real de sua implementação, seguiu-se a coleta de dados teóricos referentes ao tema. Em seguida realizou-se a escolha do professor orientador que nos orientou a montar um *Project Canvas*, onde foi apontado as diretrizes que são seguidas para a concretização do projeto. A partir do levantamento das pesquisas referentes ao tema, traduções e leitura das bibliografias referentes ao assunto e a elaboração de um documento base com a formatação normalizada foi construído o capítulo 1 da Fundamentação Teórica e as Referências.

Com base nas pesquisas bibliográficas e indicações feitas pelas empresas Kei-Tek e BPS Preditiva, realizou-se a listagem de materiais necessários para a construção do projeto, sua viabilidade econômica foi a primeira dificuldade encontrada, pois a lista de materiais apresentou um custo muito alto, devido ao preço do sistema de aquisição de dados para os instrumentos virtuais.

Após a realização de uma nova pesquisa de mercado obteve-se a possibilidade de trabalhar com a plataforma arduino como placa de aquisição de dados, com um custo bem menor, isso devido a versatilidade de integração do *software* LabVIEW o que permitiu a continuidade do projeto. A tabela 2.1 apresenta o comparativo dos orçamentos recebidos dos sistemas para a aquisição de dados.

Tabela 2.1 – Comparativo do custo para a aquisição de dados

Sistema de aquisição de dados (fabricante)	Preço ofertado
NATIONAL INSTRUMENTS	R\$ 15.751,82
ARDUINO	R\$ 185,42

Fonte: Autoria própria, 2014

O Anexo A e Anexo B mostram dois orçamentos, o primeiro proveniente da empresa National Instruments mostra todo o material necessário para realizar a

construção do projeto. Como o preço é muito alto inviabiliza essa aquisição. A segunda que se utiliza a plataforma Arduino é mais acessível e que foi adquirida para a construção do projeto.

A compra do *software* LabVIEW foi realizada após uma visita a National Instruments, onde foi apresentado o seu potencial em análise de instrumentação virtual, seu custo é apresentado no anexo D com a apresentação do contrato de licença de estudante do *software*.

Para o maior entendimento sobre manutenção preditiva e análises de vibração é realizada a participação em uma palestra sobre o assunto, oferecido pela empresa Bently Nevada na General Eletric, na cidade de Campinas - SP.

O projeto obteve patrocínio da empresa Kei-Tek Sistemas de Automação que forneceu para a utilização no projeto o motor de indução trifásico da WEG e o inversor de frequência Power Flex 4M. O custo dos demais componentes e equipamentos são especificados no anexo C com a apresentação do custo da placa de aquisição de dados e do acelerômetro MMA7361 e no anexo E onde é apresentado o custo com os sensores de temperatura LM35 e de corrente ACS712 além de materiais auxiliares. A aquisição do material para a construção da bancada, como madeiras, laminado, e parafusos totalizaram em R\$ 200,00.

O custo final do projeto envolvendo a licença do *software*, placa de aquisição de dados, sensores e materiais auxiliares se apresentou em R\$ 821,65. A viabilidade econômica do projeto foi maximizada devido ao patrocínio que foi obtido, pois com a inclusão dos equipamentos como inversor de frequência e motor de indução o custo do trabalho se elevaria para aproximadamente R\$ 2.700,00.

2.3 Etapas físicas do projeto

Primeira etapa: explanação dos equipamentos utilizados como o motor de indução trifásico, inversor de frequência, acelerômetro, sensores de corrente e temperatura e a placa de aquisição de dados.

Segunda etapa: estudo dos pontos de fixação dos sensores de temperatura e acelerômetro para a instrumentação do motor, para posterior fixação dos mesmos.

Terceira etapa: conexão do inversor de frequência com o motor de indução trifásico e início dos testes de funcionamento do motor.

Quarta etapa: montagem do circuito de aquisição de dados, configurando a comunicação dos sensores com a placa de aquisição para transporte dos sinais ao LabVIEW.

Quinta etapa: estudo e desenvolvimento de artifícios para a indução de defeitos no motor elétrico.

Sexta etapa: montagem da bancada experimental após todas as conexões e efetuado os testes e os ensaios de comunicação.

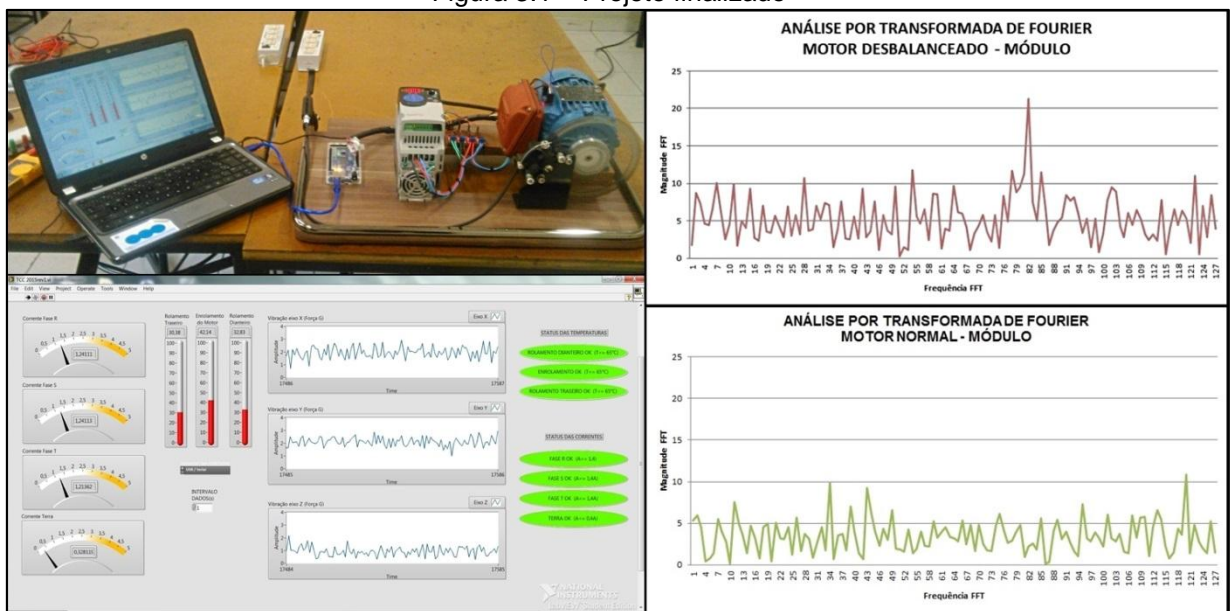
Sétima etapa: desenvolvimento do software de instrumentação virtual elaborado na plataforma LabVIEW.

Oitava etapa: verificação e análise dos dados referentes aos sinais provenientes dos sensores, com a comparação dos dados com motor em seu funcionamento normal e sob o efeito de desbalanceamento.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo são descritos o passo-a-passo da construção do projeto intitulado **Automação aplicada à manutenção: monitoramento de motores elétricos**. O projeto tem como objetivo melhorar as técnicas de manutenção atualmente utilizadas com a introdução de sistemas de monitoramento, com o intuito de minimizar o índice de paradas não programadas da linha de produção. Para melhor entendimento do trabalho, a figura 3.1 ilustra o projeto finalizado.

Figura 3.1 – Projeto finalizado

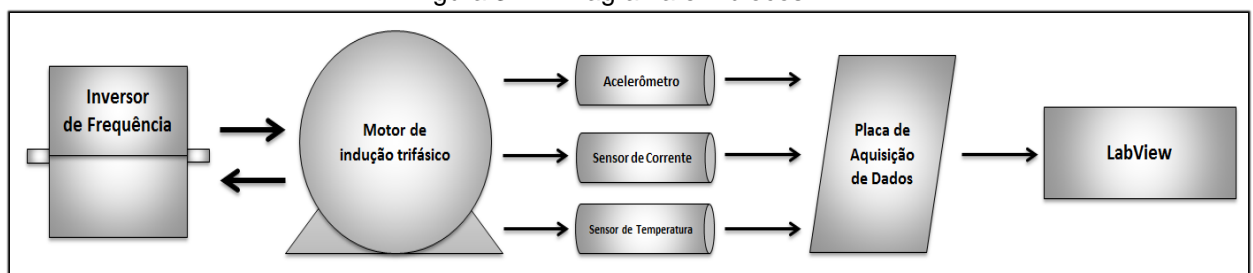


Fonte: Autoria própria, 2015.

3.1 Explicação dos equipamentos utilizados

Para melhor compreensão da montagem da bancada experimental são apresentados a seguir os equipamento e componentes utilizados, assim como um diagrama de blocos da funcionalidade da bancada, conforme ilustra a figura 3.2.

Figura 3.2 – Diagrama em blocos



Fonte: Autoria própria, 2015.

3.1.1 Motor de indução trifásico

Trata-se de um motor de indução trifásico da WEG com as seguintes especificações:

- Tipo: Indução-Gaiola;
- Categoria: N;
- Potência: 0,25 CV;
- Frequência: 60 Hz;
- Velocidade de rotação: 1710 RPM;
- Tensão: 220/ 380 Volts;
- Corrente: 1,14/ 0,660 A;
- Relação corrente de partida/ corrente nominal (IP/IN): 4,5;
- Fator de potência: 0,65;
- Rendimento(%): 64,0.

A figura 3.3 mostra o motor de indução trifásico.

Figura 3.3 – Motor de indução trifásico



Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

3.1.2 Inversor de frequência

Para o controle e variação da velocidade de giro motor de indução trifásico da WEG, é utilizado o inversor de frequência Power Flex 4M, que a partir da parceria com a KEY TEC Sistemas de Automação, que gentilmente cedeu para a utilização no projeto. O inversor de frequência Power Flex 4M possui o controle de motor em volts por hertz, tem sua aplicação na regulagem de velocidade em malha aberta. A seguir são apontadas algumas especificações sobre o inversor de frequência utilizado, para mais informações consultar anexo manual no anexo F:

- Para a classificação de 100 – 115 Volts com entrada monofásica e saída trifásica de 230 V: 0,2 a 1,1 kW / 0,25 a 1,5 HP / 1,6 a 6 A;
- Limite de temperatura ambiente para tipos de gabinetes: IP20: –10 a 50 °C;
- Capacidade de sobrecarga: 150% por 60 segundos ou 200% por 3 segundos;
- Faixa de frequência de saída: 0 a 400 Hz;
- Opções de comunicações: RS485 integrado (ModBus RTU);
- Entradas digitais: Qntd. 5 (24 Vcc, 2 programáveis);

A figura 3.4 mostra o inversor de frequência Power Flex 4M.

Figura 3.4 – Inversor de frequência Power Flex 4M

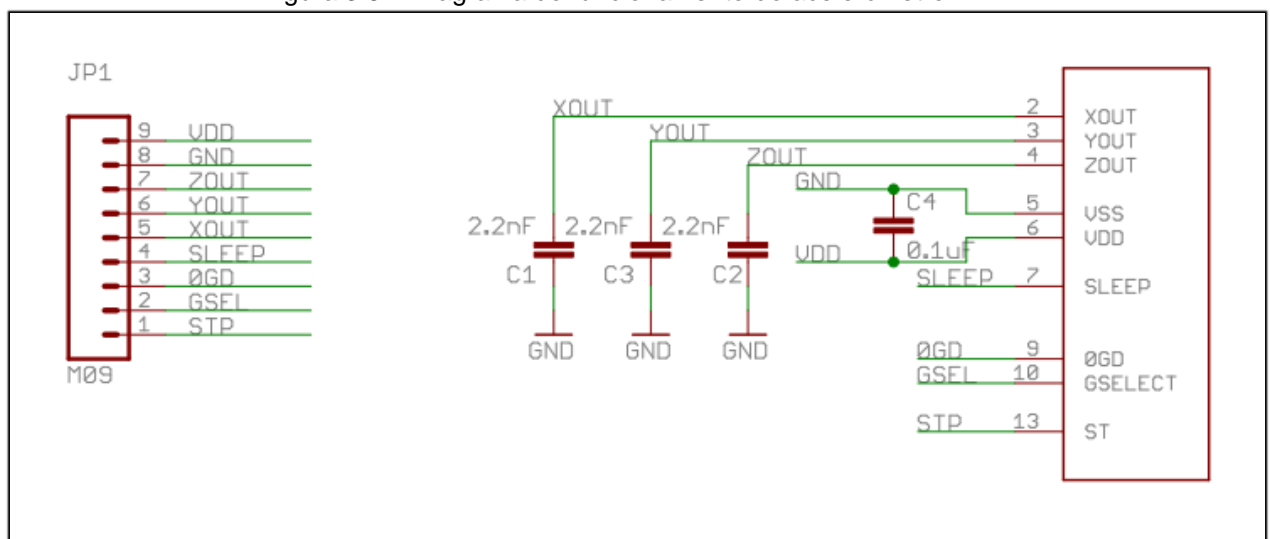


Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

3.1.3 Acelerômetro

Para a captação do sinal de vibração é utilizado o acelerômetro que possui 3 eixos o MMA7361, são obtidos o valor de aceleração dos eixos X, Y e Z. O MMA 7361 possui alta sensibilidade e baixo consumo de energia o que facilita o uso com o Arduino Mega 2560 R3. Pode é ajustado para 2 níveis de sensibilidade (1,5g ou 6g), o módulo pode ser alimentado por 3.3 Volts ou 5 Volts. A figura 3.5 mostra o diagrama do funcionamento do acelerômetro.

Figura 3.5 – Diagrama do funcionamento do acelerômetro.



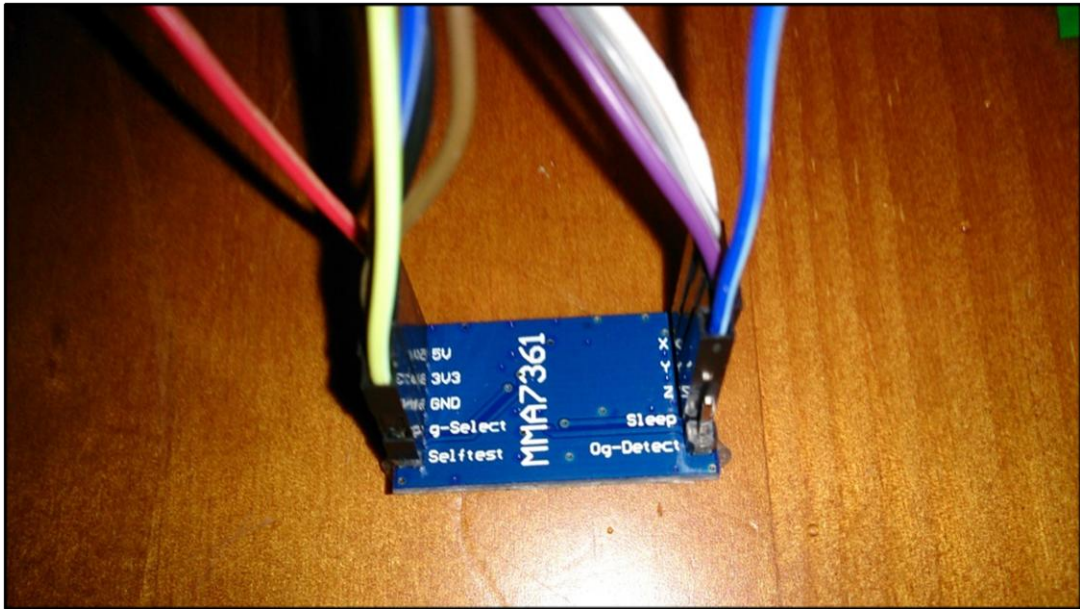
Fonte: www.alegro.com, 2015.

Algumas especificações sobre o acelerômetro:

- Corrente: 400 mA;
- *Sleep Mode*: 3 mA;
- Tensão da operação: 2,2 Volts - 3,6 Volts;
- Sensibilidade: (800 mV / g a 1,5 g);
- Sensibilidade selecionável: ($\pm 1,5$ g, ± 6 g);
- Dimensões: 24 mm x 18,0mm x 18,0 mm;
- Peso: Aproximadamente 2 gramas.

A figura 3.6 mostra o acelerômetro que foi utilizado no desenvolvimento do trabalho.

Figura 3.6 – Acelerômetro

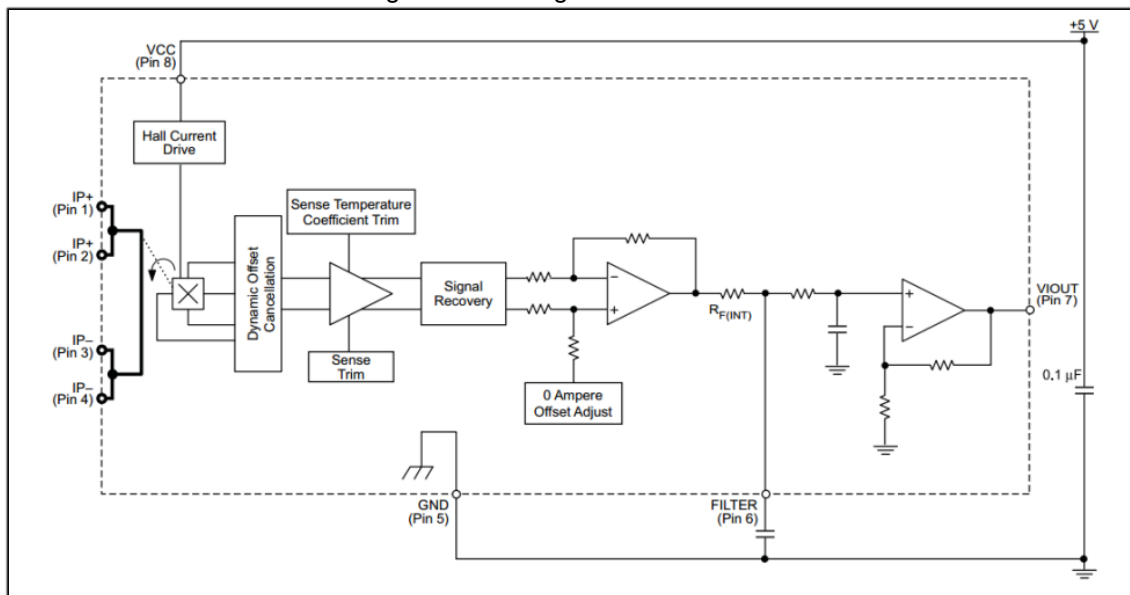


Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

3.1.4 Sensor de corrente

Para a captação do sinal de corrente é utilizado o sensor de corrente linear por efeito Hall ACS712, quando é aplicada uma corrente AC ou DC que flui através ACS712 é gerado um campo magnético por efeito hall, que é detectado e convertido em uma tensão proporcional. A figura 3.7 mostra o diagrama do ACS712.

Figura 3.7 – Diagrama do ACS712



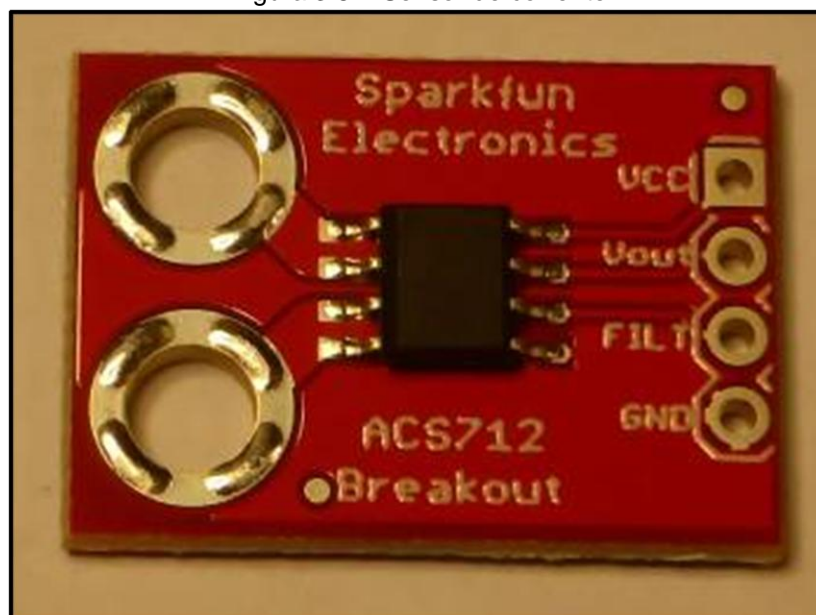
Fonte: www.allegromicrosystems.com, 2015.

O dispositivo requer alimentação de 5 Vcc e um capacitor de 1 nano Farad conectado entre o pino de filtro e o GND e outro de 1 micro Farad de 1 micro Fara que servirão como filtro. Algumas especificações sobre o sensor de corrente utilizado:

- Versão Xo5B (5 ampères);
- Baixo nível de ruído no sinal analógico;
- O tempo de resposta para entrada de corrente de 5us;
- Largura de faixa de 80 kHz;
- Erro na saída a 25°C é de 1.5%;
- Resistência de condutor interna de 1.2 mOhm;
- Tensão de alimentação e operação única de 5 Vdc;
- Sensitividade de saída: 66 a 185 mV/A;
- Tensão de saída proporcional para correntes AC ou DC;
- Tensão *offset* de saída extremamente estável.
-

A figura 3.8 mostra o sensor de corrente.

Figura 3.8 – Sensor de corrente



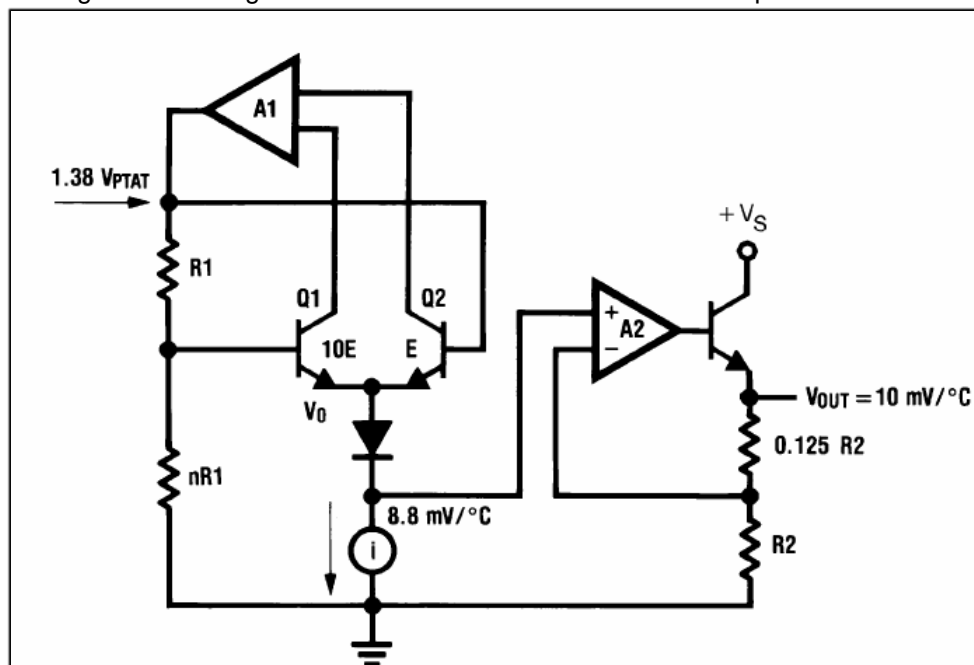
Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

3.1.5 Sensor de temperatura

Para a captação do sinal de temperatura é utilizado o sensor LM35, ele utiliza uma propriedade dos diodos que faz com que a tensão de ruptura do diodo aumente com a temperatura. Tendo em sua saída um sinal de 10 mV para cada Grau Celsius de temperatura.

Em temperatura ambiente, valores temperatura com variações de $0,25^{\circ}\text{C}$ ou até mesmo $0,75^{\circ}\text{C}$ dentro da faixa de temperatura de -55°C à 150°C . O sensor normalmente usa uma fonte de tensão tanto de cinco como de dez volts. O LM35 drena uma corrente de 60 μA , sendo assim seu auto aquecimento é de aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$ ao ar livre. A figura 3.9 mostra o diagrama de bloco funcional do sensor de temperatura LM35.

Figura 3.9 – Diagrama de bloco funcional do sensor de temperatura LM35.



Fonte: www.texas.com, 2015.

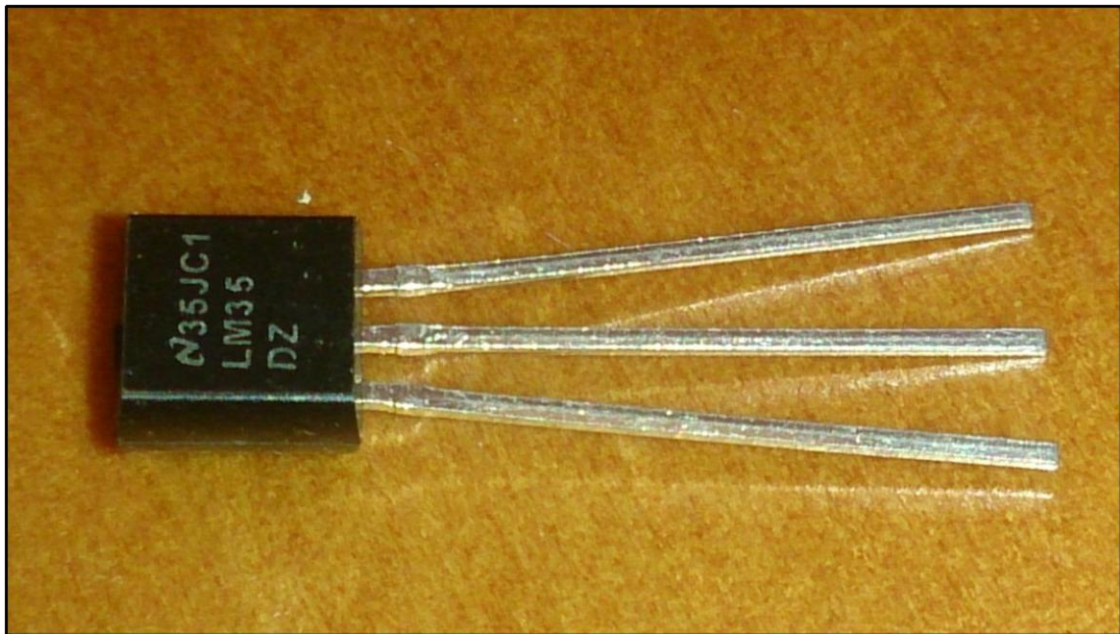
Algumas especificações sobre o sensor de temperatura utilizado:

- Calibrado diretamente em Celsius;
- Fator de escala linear de $+10.0 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$;

- Precisão garantida de 0.5°C em 25°C;
- Grande faixa de medição: -55°C a +150°C;
- Opera de 4 a 30 Volts;
- Corrente: 60 uA;
- Típica não linearidade de apenas +/-1/4°C.

A figura 3.10 mostra o sensor de temperatura utilizado no projeto.

Figura 3.10 – Sensor de temperatura



Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

3.1.6 Placa de aquisição de dados

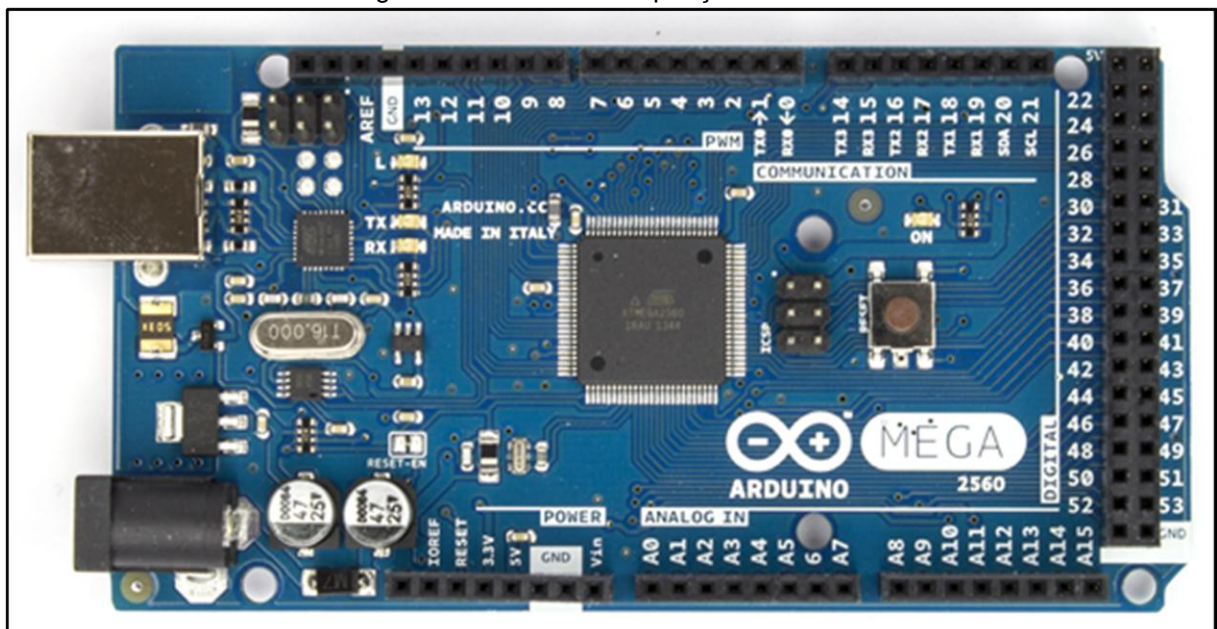
Para a aquisição de dados dos sensores e envio a plataforma LabVIEW onde os dados são processados, é utilizada a placa Arduino Mega 2560 R3. O Arduino Mega 2560 R3 é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega 2560. A placa possui 54 pinos digitais de entrada e saída, dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM, 16 entradas analógicas, 4 portas seriais de *hardware*, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB.

Algumas especificações sobre a placa de aquisição de dados utilizada:

- Microcontrolador: Atmega2560;
- Tensão operacional: 5 Volts;
- Tensão de entrada (recomendado): 7-12 Volts;
- Tensão de entrada (limites): 6-20 Volts;
- Digital I / O pinos: 54 (dos quais 15 oferecem saída PWM);
- Entrada Analógica: 16 Pinos;
- Corrente DC por I / O Pin: 40 mA;
- Corrente DC 3.3V para Pin: 50 mA;
- Memória Flash: 256 kB, dos quais 8 kB utilizado pelo bootloader;
- SRAM: 8 kB;
- EEPROM: 4 kB;
- Velocidade de clock: 16 MHz.

A figura 3.11 mostra a placa de aquisição de dados.

Figura 3.11 – Placa de aquisição de dados



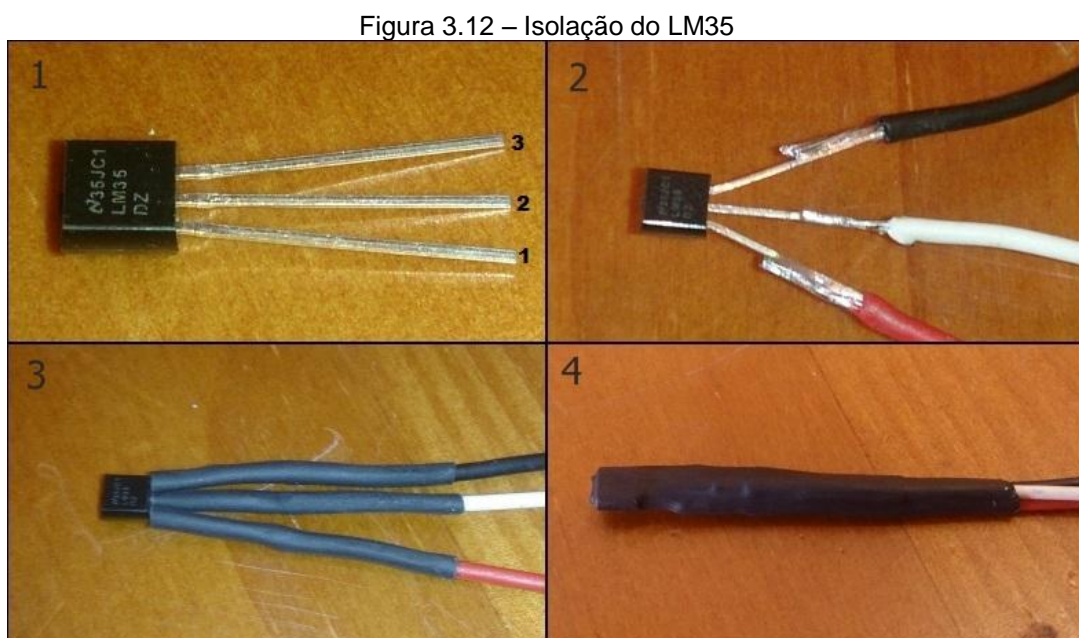
Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

3.2 Instrumentação do motor

A primeira etapa para a efetuação da montagem da bancada de aquisição de dados é a correta instrumentação do motor. A instrumentação é o estudo que aplica e aperfeiçoa as técnicas para uma melhora na implementação de instrumentos de medição, comunicação, indicação, apontamento e o domínio de variáveis físicas em equipamentos utilizados nos processos industriais. No desenvolvimento da bancada de aquisição de dados são utilizados três tipos diferentes de sensores com o intuito de acompanhar o progresso das variáveis ou parâmetros que indicam o desempenho do motor de indução trifásico.

Para o sensoriamento da temperatura é utilizado o sensor LM35, escolhido pela prática nas aulas de laboratório de instrumentação. O sensor LM35 possui encapsulamento TO-92 que é idêntica ao dos transistores, possui três terminais, sendo o terminal um usado na alimentação do sensor, o terminal dois para o sinal de saída que é enviado para análise e o terminal três para o negativo.

Os três terminais do sensor são isolados com termocontratil de forma individual e logo após, o componente é envolvido por completo por outro termocontratil para facilitar sua fixação como mostra a figura 3.12.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Por um breve estudo realizado foi constatado por convecção termodinâmica que o calor tem por tendência se concentrar na parte superior do motor elétrico. Devido a este motivo a instrumentação do motor segue o seguinte parâmetro, são fixados com resina epóxi três sensores LM35, um na parte superior dianteira do rolamento (3), outro na traseira superior (2) e o ultimo na parte superior do embobinamento (4). Como a fixação do motor é convencional fixado pelos pés e sua montagem também convencional, é entendida que esta é a melhor configuração para a fixação dos sensores LM35. O sinal de saída dos sensores LM35 é conectado nas entradas analógicas da placa de aquisição de dados para o envio do sinal elétrico referente à temperatura do rolamento do motor. A figura 3.13 mostra a fixação dos sensores LM35 no motor.

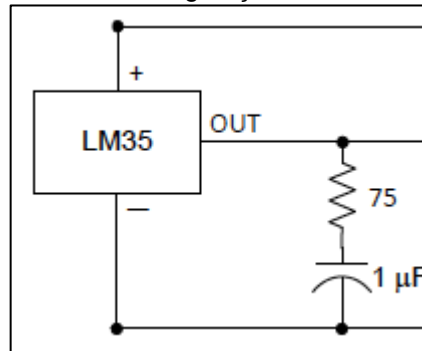
Figura 3.13 – Fixação dos sensores LM35.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Como os sensores LM35 estão fixados na parte interna do motor elétrico de indução, estes sensores são diretamente afetados pela força eletromagnética, pois sua fiação atua como uma antena de recepção, gerando uma corrente devido ao efeito capacitivo e suas junções internas atua como retificadores, produzindo um ruído indesejado no valor de saída deste sensor. Para a minimização deste problema, os pares de fios conectados ao LM35 são trançados e desenvolvido um filtro RC amortecedor, composto por um resistor de 75 ohms em série comum capacitor de 1 micro Farad, entre o terminal do sinal de saída e o terminal terra do LM35. A figura 3.14 mostra a configuração do filtro do LM35.

Figura 3.14 – Configuração do filtro do LM35

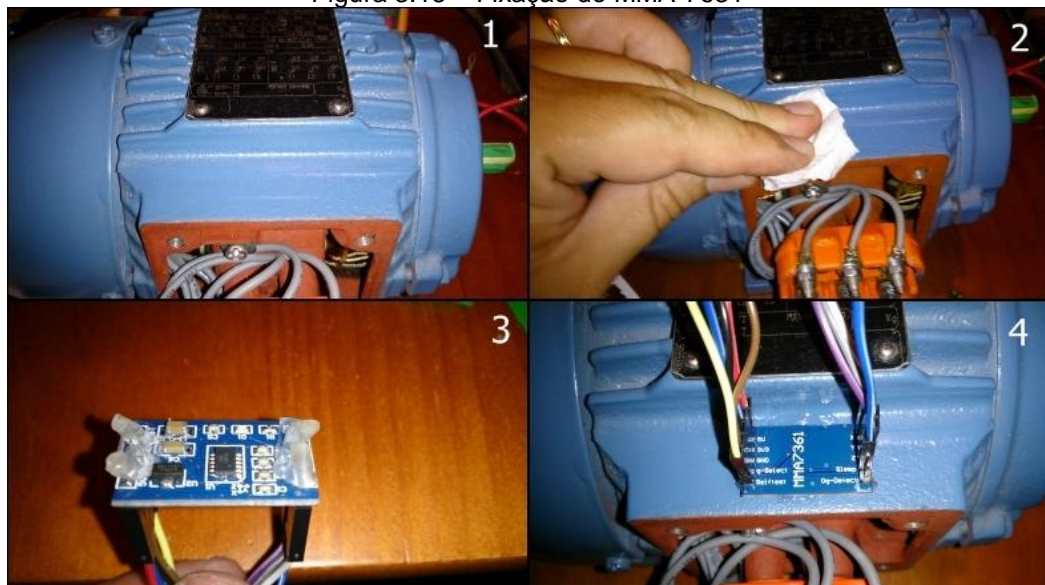


Fonte: Autoria própria, 2015.

Para o sensoriamento da vibração é utilizado o acelerômetro MMA 7361 que é fixado com resina epóxi na parte superior da fixação da tampa da entrada da alimentação do motor, local este escolhido por ser o plano fazendo que os eixos X, Y e Z do acelerômetro fiquem no mesmo eixo da fixação do motor.

Um dos problemas encontrados para a fixação do acelerômetro é sua tolerância à temperatura, que não pode ser superior aos 85° Celsius, por este motivo uma das funções dos sensores de temperatura é o monitoramento para que a temperatura da carcaça do motor não exceda este valor. Por motivo de segurança é adotada uma margem de 20% em relação ao nível máximo de temperatura suportado pelo acelerômetro MMA 7631 e da resina epóxi. A figura 3.15 mostra a fixação do MMA-7631 no motor.

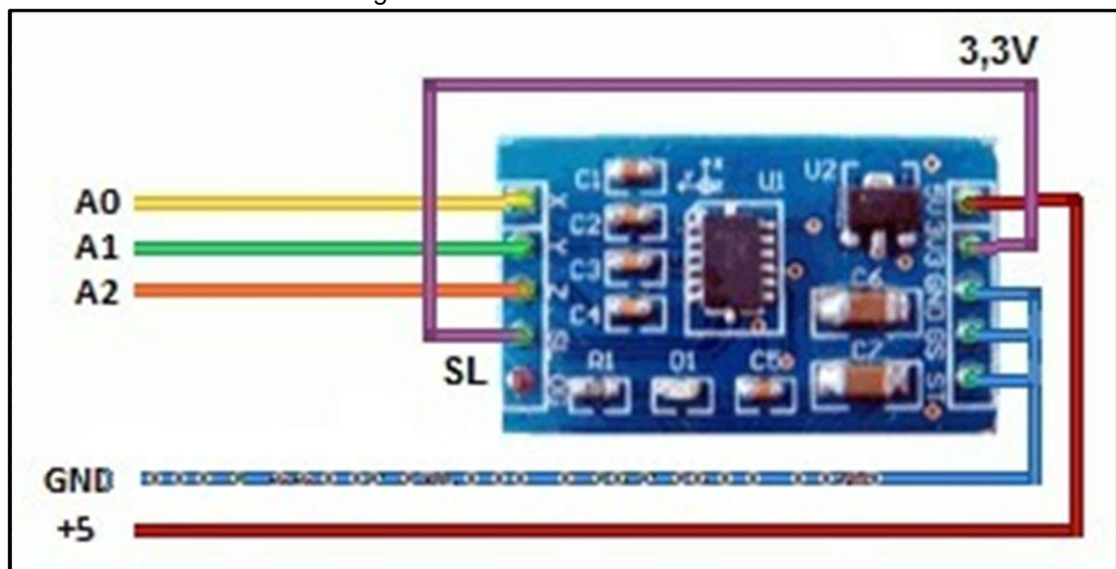
Figura 3.15 – Fixação do MMA-7631



Fonte: Autoria própria, 2015.

O MMA 7361 possui dez terminais, sendo dois para alimentação, um de 5,0 Volts e outro de 3,3 Volts, a ligação do terminal de 3,3 Volts, fornecerá uma tensão de referência ao circuito, evitando erros na leitura dos dados, além do terminal negativo. Os terminais X, Y e Z do módulo são ligados às entradas analógicas da placa de aquisição de dados, estes terminais são responsáveis pelo envio da tensão correspondente a localização de cada eixo. Os outros quatro terminais são utilizados para parametrizações, como mostra a figura 3.16.

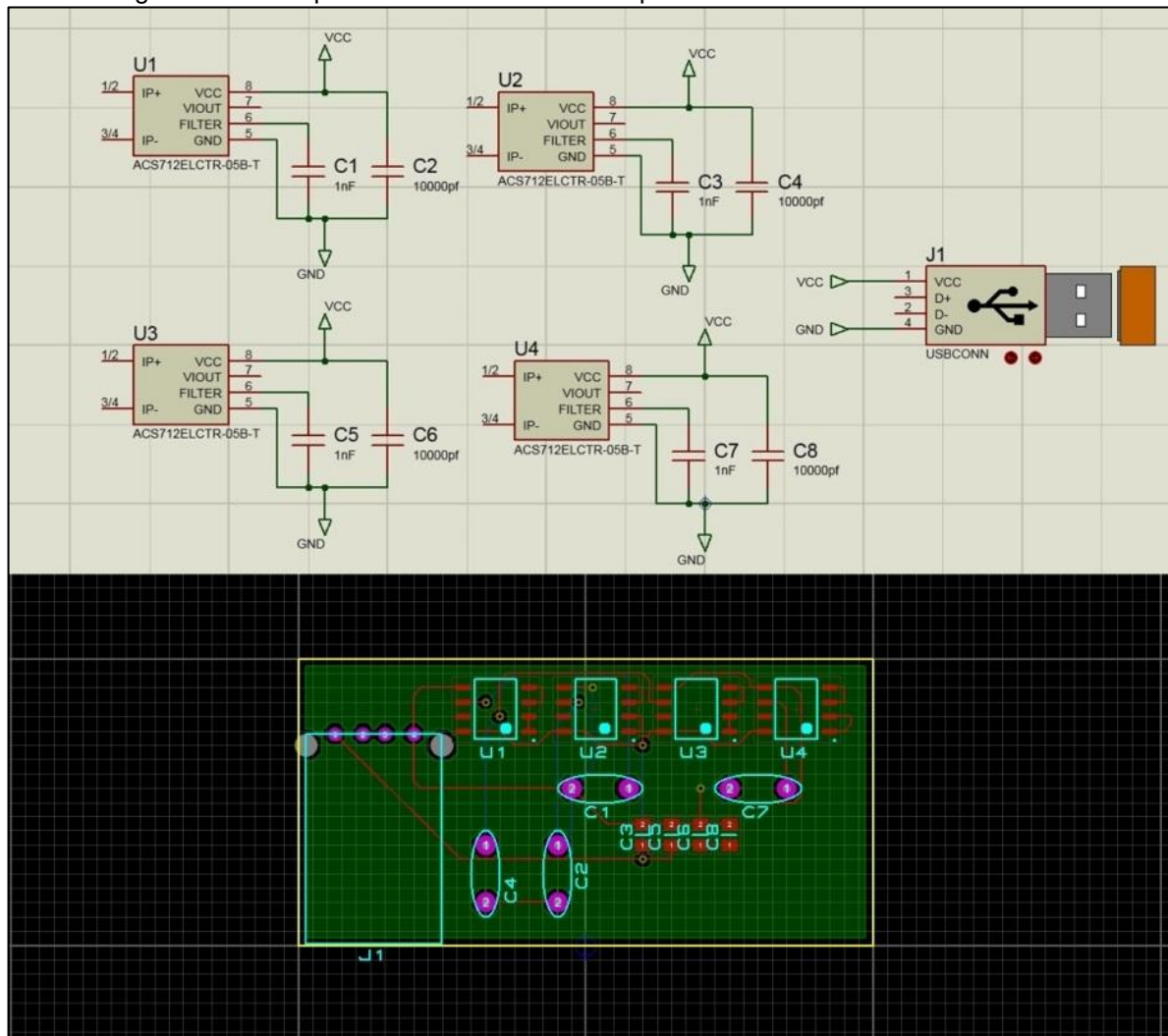
Figura 3.16 – Terminais MMA 7361



Fonte: www.filipeflop.com, 2015.

Para o sensoriamento da corrente é desenvolvido uma placa de circuito eletrônico com o intuito de uma melhor distribuição e utilização dos sensores ACS712. Para o desenvolvimento do projeto e primeiros testes é utilizado o *software* Proteus onde realiza-se os ensaios de funcionamento do circuito utilizando o ambiente de simulação ISIS. Após todos os testes concluídos é efetuada a conversão para o ambiente de desenho de circuitos impressos ARES. Concluído os ensaios necessários a o funcionamento da placa deu-se origem a montagem física a partir do layout gerado pelo software de simulação. A figura 3.17 mostra as etapas percorridas no desenvolvimento da placa de sensoriamento da corrente

Figura 3.17 – Etapas de desenvolvimento da placa de sensoriamento da corrente.



Fonte: Autoria própria, 2015.

A placa é composta por quatro sensores de corrente ACS712 cada um deles com um capacitor de 1 nano Farad conectado entre o pino de filtro e o negativo e outro de 1 micro Farad de 22 nano Farad entre o VCC e o negativo que serve como filtro. Os terminais de VCC dos sensores são interligados por uma trilha, o mesmo é feito com o terminal negativo, que são conectados a um cabo USB utilizando apenas os conectores responsáveis pela alimentação elétrica e aterramento. Os sensores são instalados em serie com as fases do sistema trifásico da saída do inversor para a alimentação do motor, e um quarto sensor monitorando a corrente do neutro. A figura 3.18 mostra a placa de sensoriamento da corrente finalizada.

Figura 3.18 – Placa de sensoriamento da corrente.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Individualmente cada sensor ACS712 possui oito terminais, sendo que a corrente flui entre os terminais 1 e 2 para os terminais 3 e 4. O terminal 8 é usado para alimentação do componente e o terminal 5 para o negativo. O terminal 6 para conectar o capacitor de filtro, onde é configurada a largura de banda do dispositivo, o terminal 7 do componente é ligado à entrada analógica da placa de aquisição de dados, para o fornecimento do sinal de tensão correspondente a corrente pelo sensor.

3.3 Ligação do inversor de frequência e do motor

Após a realização da instrumentação do motor tem início a ligação do inversor. É utilizado o inversor de frequência por necessidade de se gerar uma alimentação trifásica para a alimentação do motor e alterar vários parâmetros referentes ao funcionamento do motor de indução trifásico, pois a variação da frequência de rotação é elemento decisivo para a alteração da vibração, temperatura e principalmente a corrente em um motor elétrico.

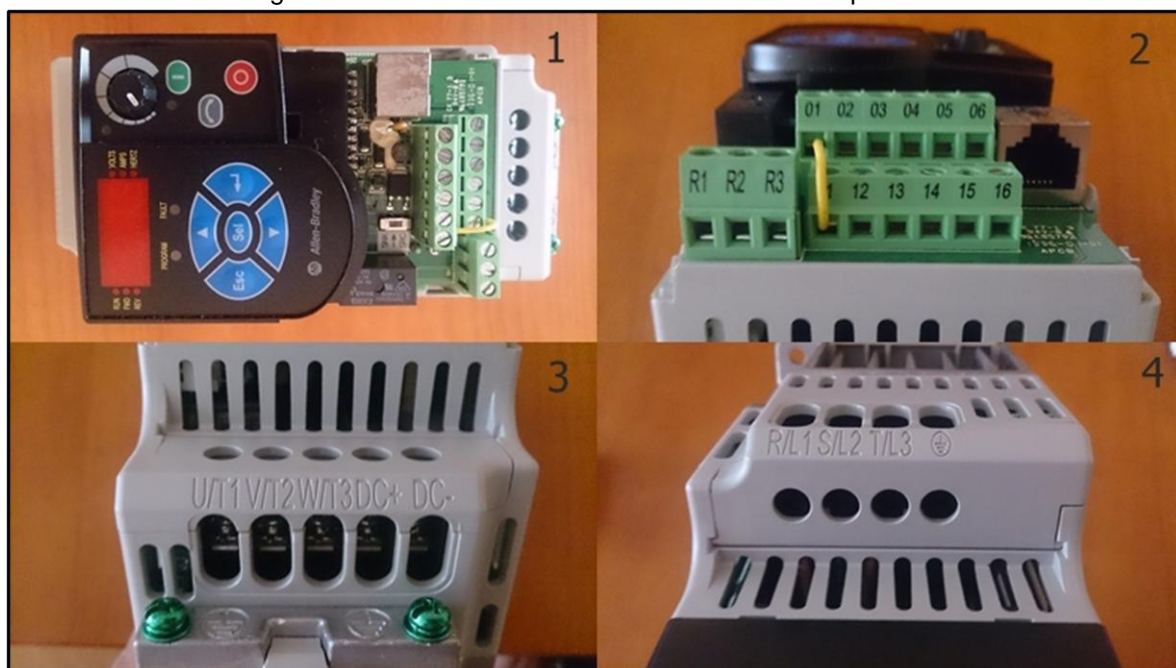
Devido à diminuição da frequência da alimentação do motor há um aumento da temperatura que se dissipa em todo o conjunto, devido a falta de ventilação que é

gerada por consequência da rotação do motor. Além dos problemas do rompimento da isolamento provocado pelos altos picos de tensão decorrentes da rapidez de crescimento dos pulsos gerados pelo inversor, bem como a alta frequência com que estes são produzidos.

Através da variação da frequência da tensão de alimentação a velocidade de rotação do motor altera-se podendo se encontrar outro tipo de ressonância que é produzida pela vibração natural característica, que é quando o motor tem sua frequência de rotação próxima ou igual à frequência de valores próprios da estrutura da máquina e seus suportes. Como comprovado pelas pesquisas em um motor de indução trifásico com rotor de gaiola, a frequência de rotação do rotor alteram o fluxo magnético e em consequência a rotação e a corrente do motor.

É utilizado um inversor de frequência do fabricante Rockwell, modelo Power Flex 4M, onde são utilizados o terminal R\L1 e o terminal S\L2 para a entrada da alimentação monofásica e os terminais U\L1, V\L2 E W\L3 para alimentação do motor de indução trifásico com fechamento em triângulo alimentado pelos terminais U, V e W. A figura 3.19 mostra a localização das entradas e saídas do inversor de frequência Power flex 4M

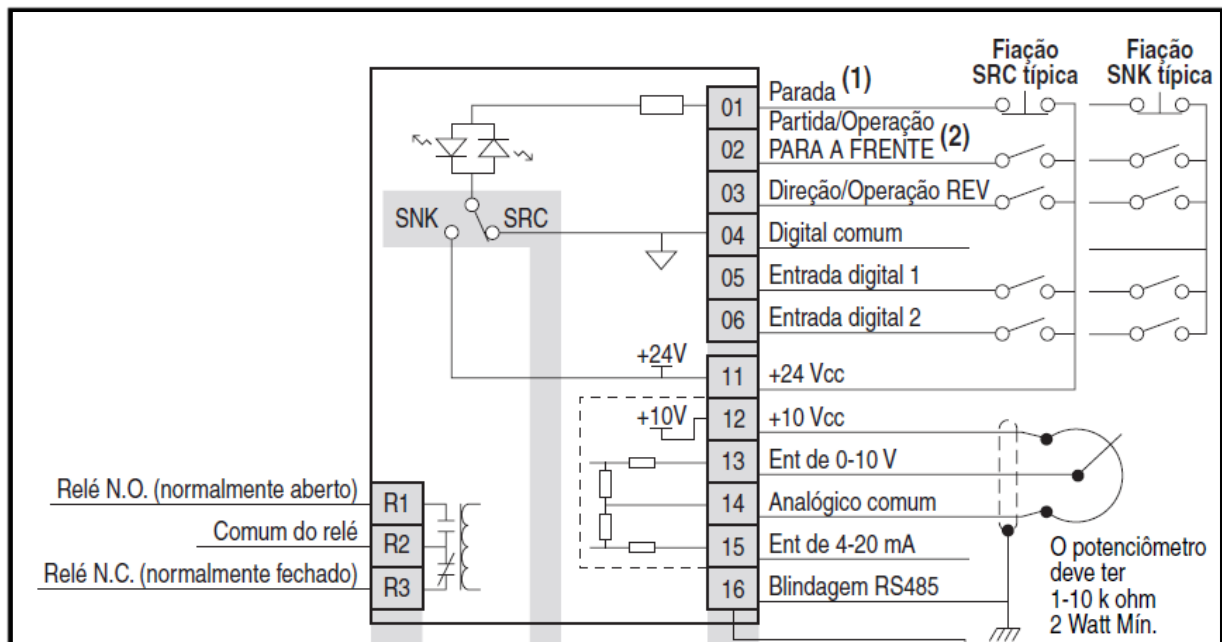
Figura 3.19 – Entradas e saídas do inversor de frequência.



Fonte: Foto de arquivo pessoal, 2015.

Para o controle da velocidade de rotação do motor é utilizado o controle analógico através do potenciômetro proporcionado pelo inversor de frequência e parametrizado pelo comando P038, que estabelece a fonte de referencia de velocidade do inversor. O controle analógico é acionado através da E\S 14 do bloco de terminais para controle. A figura 3.20 mostra o bloco dos terminais de controle do inversor de frequência Power Flex 4M.

Figura 3.20 – Bloco dos terminais de controle



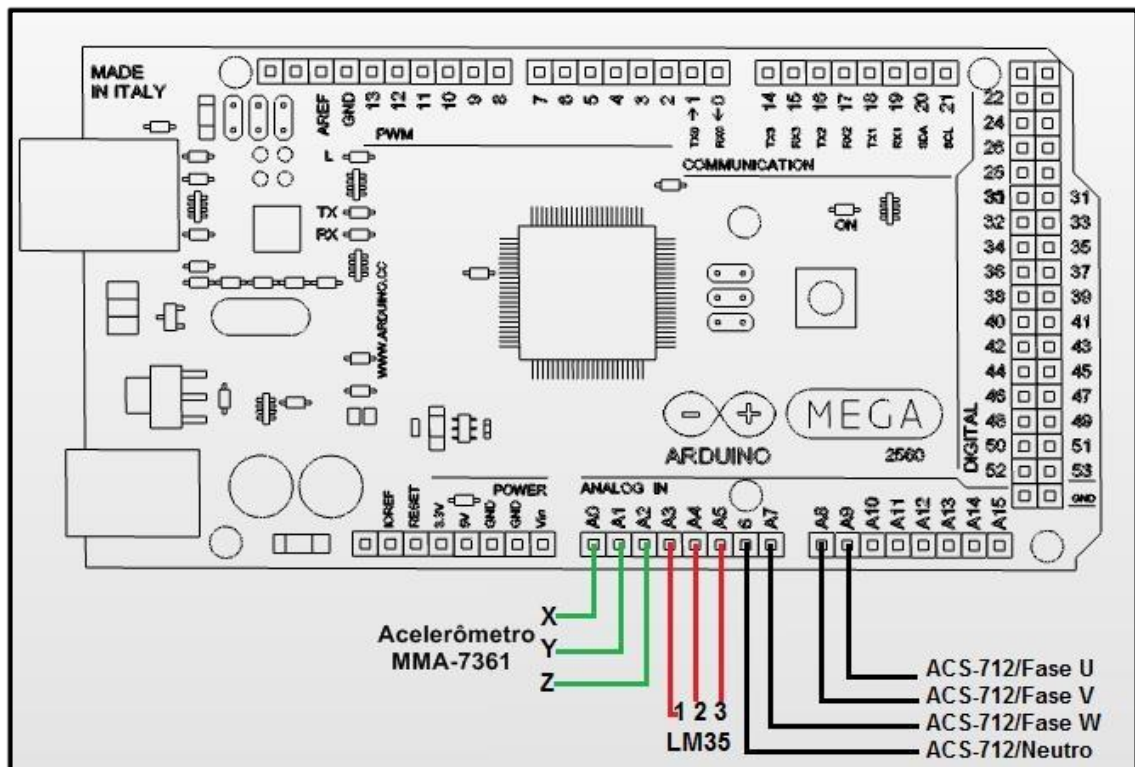
Fonte: www.rockwellautomation.com, 2015.

3.4 Montagem do circuito de aquisição de dados

A aquisição de dados é o procedimento de medição de um fenômeno físico ou elétrico, como corrente, tensão, temperatura, pressão ou som, com o uso de um computador. Um sistema de aquisição de dados é composto por sensores, *hardware* de aquisição e medição de dados e um computador com *software* programável.

O *hardware* de aquisição de dados funciona como a interface entre um computador e sinais gerados nos sensores. Utiliza-se como placa de aquisição de dados o Arduino Mega 2560 R3 que atua como um dispositivo e recebe os sinais emitidos pelos sensores e os envia para o processamento via plataforma

Figura 3.22 – Ligação dos sensores na placa de aquisição



Fonte: Autoria própria, 2015.

A placa de aquisição de dados possui portas para a alimentação de periféricos, os terminais utilizados para a alimentação dos sensores são:

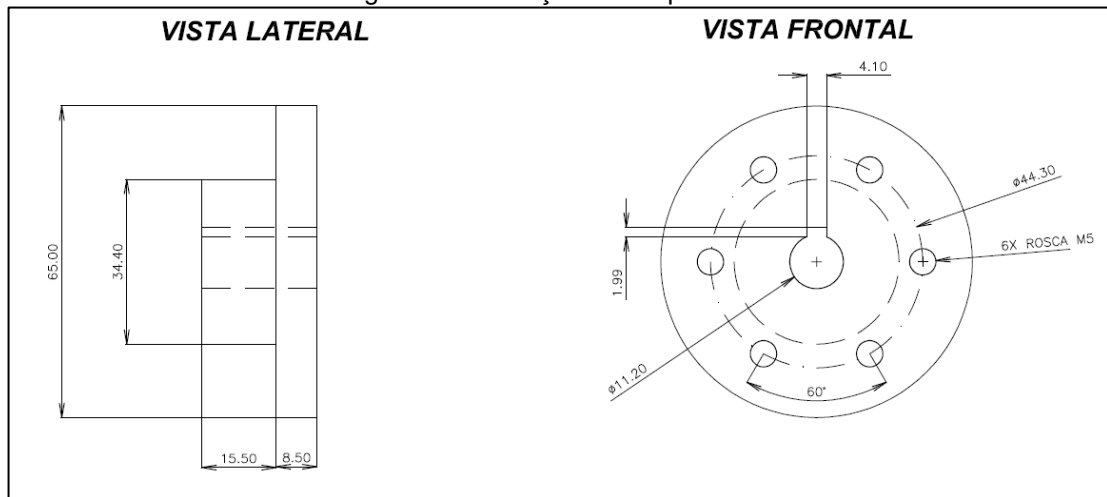
- VIN: a tensão de entrada para a placa Arduino quando ele está usando uma fonte de alimentação externa, alimentada pela porta USB do computador;
- 5 V: este pino produz um 5 Volts regulado pela alimentação da placa é utilizado para a alimentação do acelerômetro MMA7361;
- 3V3: a alimentação de 3,3 Volts é gerado pelo regulador de bordo. A alimentação de 3,3 Volts fornece uma tensão de referência ao acelerômetro MMA 7361;
- GND: pinos de negativo.

Também utiliza-se uma USB auxiliar para a alimentação dos sensores de temperatura e corrente, ambos alimentados por 5 Volts.

3.5 Indução de carga e defeitos

O inversor de frequência tem como função além do acionamento do motor ser um dos principais responsáveis pela indução de defeitos no motor elétrico através da variação da frequência de alimentação do motor. É desenvolvida como mostra a figura 3.23 uma peça para o acoplamento de um disco de freio ao motor.

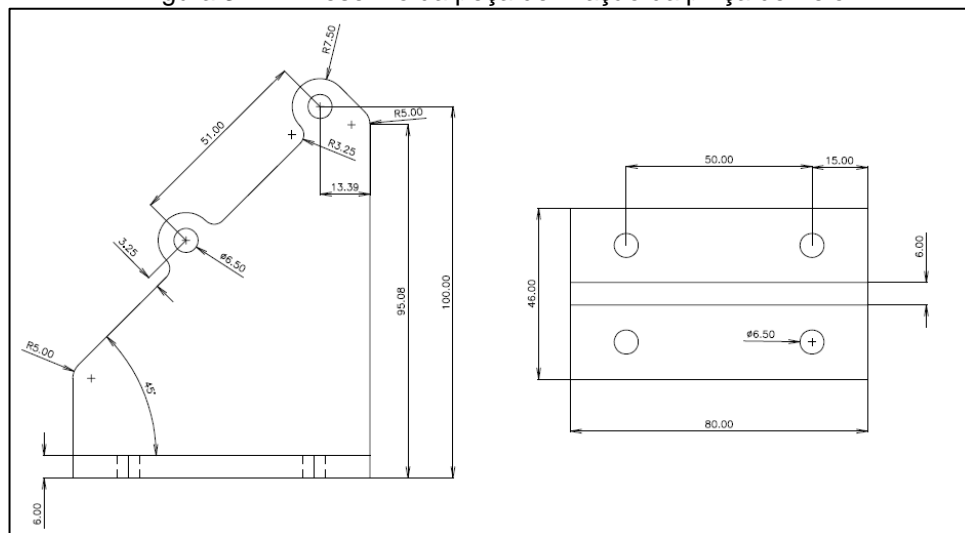
Figura 3.23 – Peças de acoplamento



Fonte: Autoria própria, 2015.

Outra peça é desenvolvida para a fixação da pinça de freio. A figura 3.24 mostra o desenho da peça de fixação da pinça de freio.

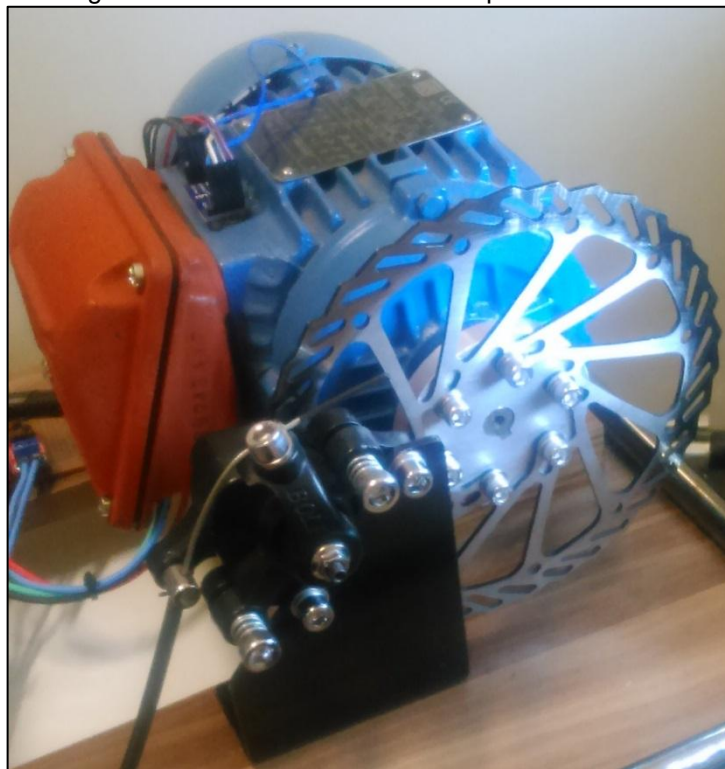
Figura 3.24 – Desenho da peça de fixação da pinça de freio



Fonte: Autoria própria, 2015.

O sistema de freio acoplado ao motor tem a função de através do seu breque forçar o aumento da temperatura e da corrente requisitada pelo motor ao sistema elétrico, através da aplicação de carga no motor, além do surgimento de picos de vibração. A peça usinada para o acoplamento do disco de freio apresenta um leve desvio de centro o que acarreta em um pequeno desbalanceamento que gera uma distribuição assimétrica da massa em torno da linha central de rotação do eixo, gerando cargas no suporte dos rolamentos como reação de forças rotativas. A figura 3.25 mostra o sistema de freios acoplado ao motor.

Figura 3.25 – Sistema de freios acoplado ao motor.



Fonte: Autoria própria, 2015.

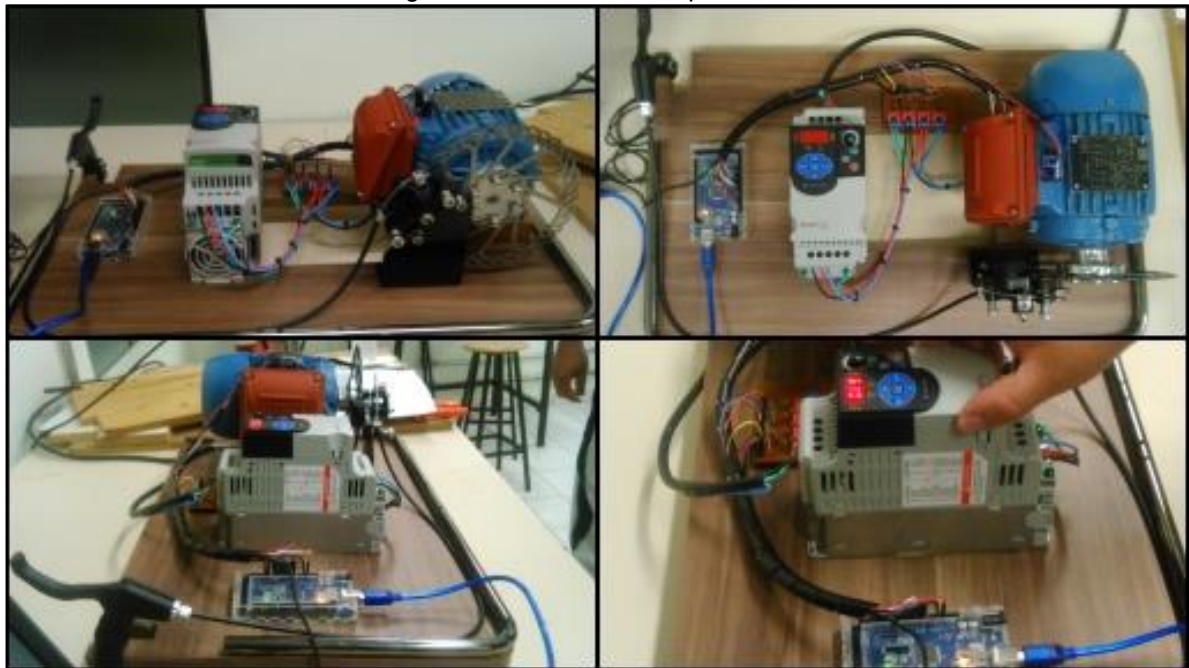
Após o acoplamento do sistema de freio ao motor é encontrada através da variação da frequência de rotação do rotor, uma frequência específica que gera uma vibração constante que se dissipa por todo o sistema. Através de análises e do estudo da teoria é concluído que esta ressonância é gerada pela proximidade da frequência de giro do motor a frequência característica natural do acoplamento, gerando assim uma condição especial que gera este tipo de vibração.

3.6 Montagem da bancada experimental

A montagem da bancada experimental para aquisição de dados é efetuada após a instrumentação do motor e ligação do mesmo através do inversor de frequência, efetuando assim os primeiros testes de comunicação entre sensores, placa de aquisição de dados e LabVIEW. O layout da bancada é planejado para dispor todos os equipamentos em um formato e tamanho que possibilita uma fácil movimentação e deslocamento, além de ter tido o cuidado para que nenhum equipamento cause interferência no bom funcionamento dos demais.

Para a fixação dos equipamentos é tomado o cuidado na escolha do material, que é feita em madeira para não se amplificar a vibração e nem minimizá-la. A escolha da madeira também ser de um material dielétrico, em seu estado seco, diminuindo a possibilidade de acidentes e interferências, são criados pontos para fixação dos materiais e uma abertura central para a melhora na ventilação do inversor de frequência. A figura 3.26 mostra a bancada experimental após a efetuação da sua montagem.

Figura 3.26 – Bancada experimental



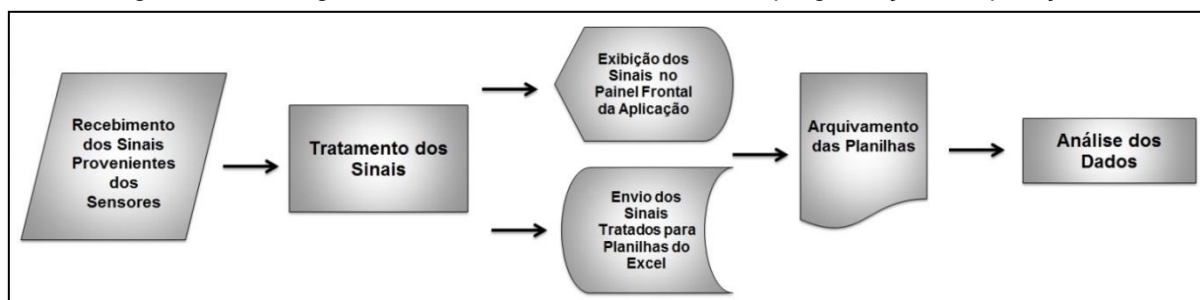
Fonte: Autoria própria, 2015.

3.7 Instrumentação virtual via LabVIEW

A aplicação elaborada para a aquisição e monitoração dos sinais dos sensores de temperatura, corrente e do acelerômetro utiliza a plataforma LabVIEW para seu desenvolvimento. As aplicações ou programas criados na plataforma LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais devido a sua aparência e funcionamento simularem instrumentos físicos como multímetro e osciloscópio.

O programa tem por finalidade mostrar em tempo real os dados coletados pelos acelerômetros em gráficos do sinal no domínio da frequência e do tempo, permitir a visualização do valor eficaz das correntes e temperaturas em *displays* numéricos, e com base nos valores coletados precisar a condição de funcionamento motor de indução trifásico. A aplicação possibilita que os dados mostrados em tempo real sejam gravados em planilhas no formato csv que é uma extensão para Microsoft Excel. A figura 3.27 mostra o diagrama de blocos da funcionalidade da programação da aplicação.

Figura 3.27 – Diagrama de blocos da funcionalidade da programação da aplicação.



Fonte: Autoria própria, 2015.

3.7.1 Painel Frontal

A interface gráfica entre o usuário e a aplicação é denominada no LabVIEW como painel frontal. O painel frontal é uma janela na qual o usuário tem a possibilidade de visualizar os dados dos sinais processados pelo software e realizar comandos. O painel frontal desenvolvido para a aplicação é composto basicamente por *displays* onde são plotados em tempo real os valores já condicionados e convertidos da temperatura do rolamento do motor, das correntes nas fases e no neutro e dos valores referentes à vibração nos eixos do acelerômetro. O painel

frontal conta com um *display* que habilita o intervalo de tempo em segundos, entre cada gravação dos dados coletados em uma planilha e *displays* que indicam se o estado atual dos valores de temperatura e corrente está de acordo com os estipulados. A figura 3.28 mostra o painel frontal da aplicação.

Figura 3.28 – Painel frontal da aplicação.



Fonte: Autoria própria, 2015.

3.7.2 Vista geral da programação

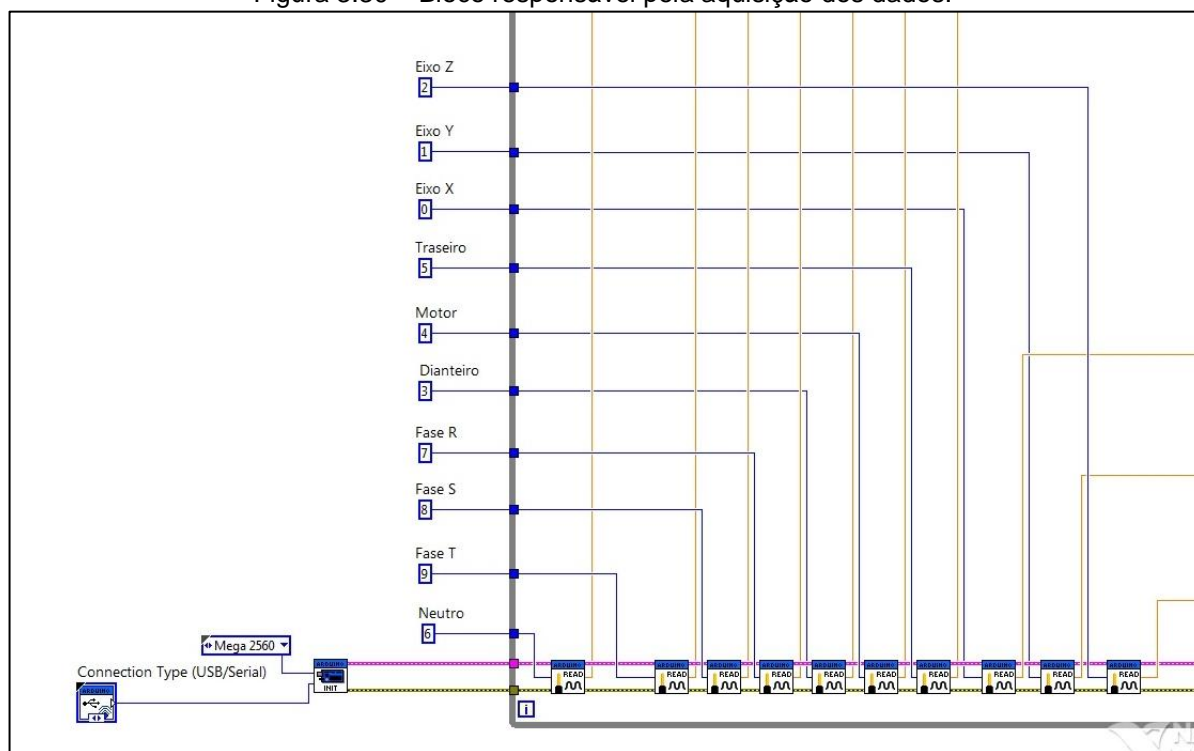
A execução do programa de monitoramento da temperatura, corrente e vibração obedecem ao fluxo de dados através dos nós do diagrama de blocos o que determina a ordem de execução do programa.

O programa tem sua funcionalidade dividida para melhor visualização. Na parte superior da tela de programação concentram-se os componentes responsável pelo acompanhamento dos valores da corrente, ao centro esta o diagrama de blocos dos componentes responsáveis pelo monitoramento dos valores de temperatura e na parte inferior a programação da parte que efetua a monitoração dos valores de vibração. Após o tratamento do sinal de tensão que são enviados dos sensores pelos blocos citados anteriormente, os dados são levados ao bloco que os organiza para a gravação dos dados em planilha para posterior análise.

3.7.3 Aquisição e tratamento dos sinais

O primeiro passo efetuado no ciclo de funcionamento do programa é a aquisição dos sinais emitidos pelos sensores, na programação a placa de aquisição de dados é representada pelo bloco de entradas do Arduino onde é apontado o tipo de placa utilizada, taxa de transmissão, número de bytes por pacote e o tipo de conexão. São utilizados as entradas analógicas de conexão que são numerados a partir do endereçamento físico das entradas. A figura 3.30 mostra o bloco responsável pela aquisição dos dados.

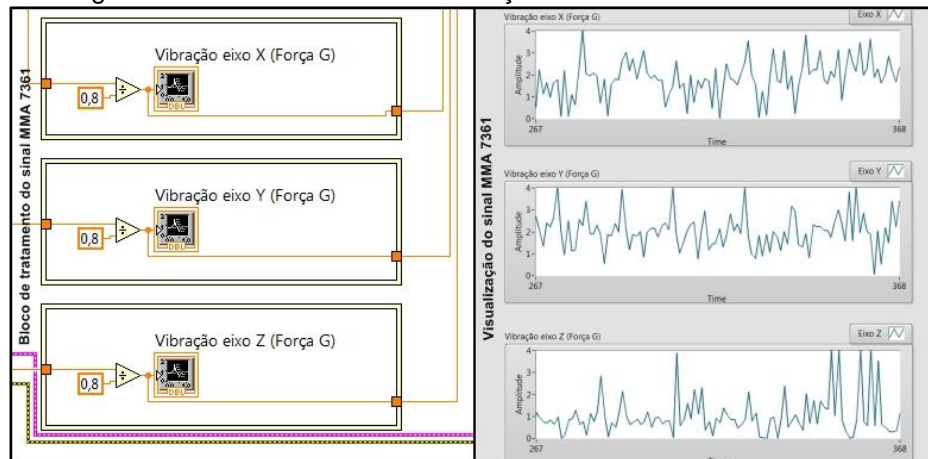
Figura 3.30 – Bloco responsável pela aquisição dos dados.



Fonte: Autoria própria, 2015.

O sinal de saída do acelerômetro MMA 7361 é dado em mV/g. A sua sensibilidade é de 800 mV/g quando utilizada a alimentação de 3,3 Volts. Sinal que é dividido pela sensibilidade para se obter o valor referente a força g que é plotado num gráfico de sinal da amplitude de vibração em relação ao tempo que é exibido na tela frontal. Esta programação é efetuada para a exibição do sinal de cada eixo de deslocamento do acelerômetro MMA 7361. A figura 3.31 mostra o bloco responsável pelo tratamento dos dados provenientes do acelerômetro MMA 7361 e sua visualização na tela frontal.

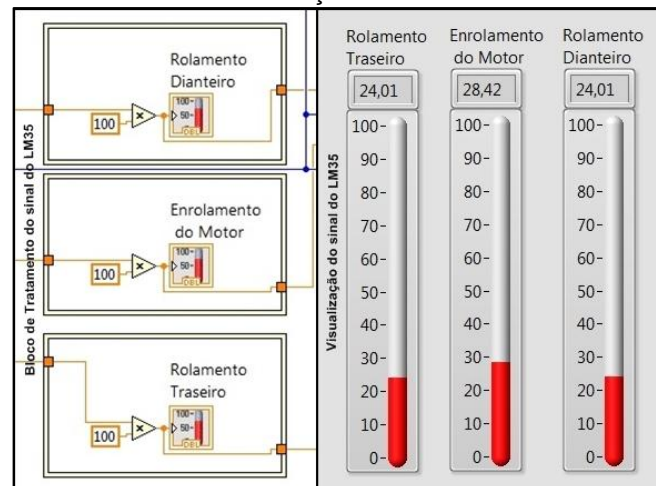
Figura 3.31 – Tratamento e visualização dos sinais do acelerômetro.



Fonte: Autoria própria, 2015.

O sinal de saída do LM35 é dada em $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ e sua sensibilidade é de $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$. Assim que é recebido o sinal do LM35 ele é multiplicado por 100 e exibido em valores de temperatura em um *display* da tela frontal que varia seu range de temperatura de 0 a 100 graus célsius, programação repetida para o tratamento do sinal dos três sensores de temperatura LM35. A figura 3.32 mostra o bloco responsável pelo tratamento dos dados provenientes do sensor de temperatura LM35 e sua visualização na tela frontal.

Figura 3.32 – Tratamento e visualização dos sinais do sensor de temperatura.



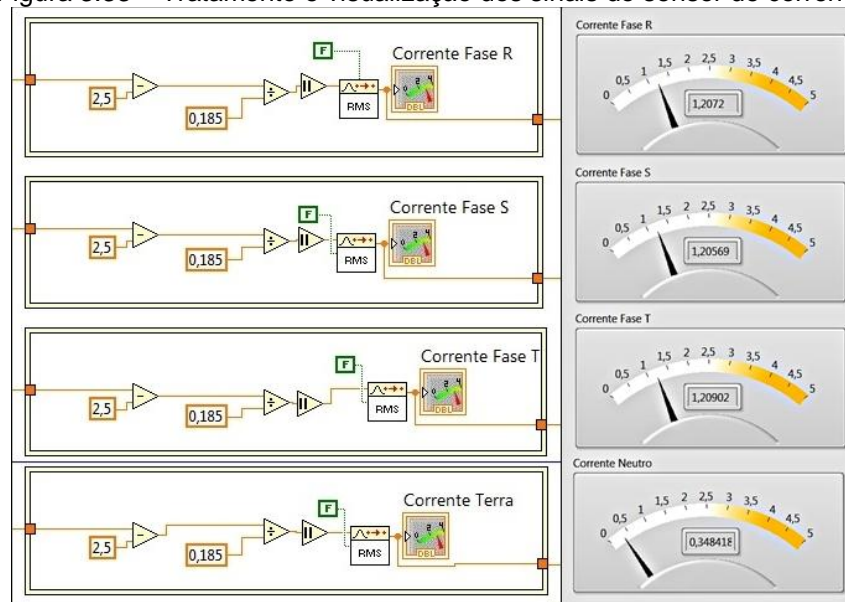
Fonte: Autoria própria, 2015.

O sinal de saída do sensor de corrente ACS712 é dado por mV/A e sua sensibilidade é de $185 \text{ mV}/\text{A}$ e seu valor de VCC é de 5 volts. Do sinal do ACS712 é subtraído o valor de 2,5, pois conforme aponta o *datasheet* o valor zero da corrente é igual à VCC dividido por dois. O sinal é dividido pela sensibilidade do sensor,

gerando o valor da corrente que é enviado a um bloco de valor absoluto, que transforma todo valor que passa por ele em positivo, para não haver oscilações entre corrente negativa e positiva, estabilizando o valor gravado nas planilhas.

Como o sinal da corrente é proveniente do inversor de frequência, ela não flui simetricamente com a tensão aplicada, devido o controle da frequência de rotação ser efetuado pelo inversor através da modulação da largura de pulso. Para a estabilização deste sinal é usado um bloco que calcula o valor RMS da sequência de entrada em X, este bloco efetua a raiz quadrada da média calculada a partir da sequência de entrada em X, tornando assim o sinal da corrente em um valor estabilizado. Esta programação é efetuada para o tratamento do sinal dos quatro sensores ACS712. A figura 3.33 mostra o bloco responsável pelo tratamento dos dados provenientes do sensor de corrente ACS712 e sua visualização na tela frontal.

Figura 3.33 – Tratamento e visualização dos sinais do sensor de corrente.



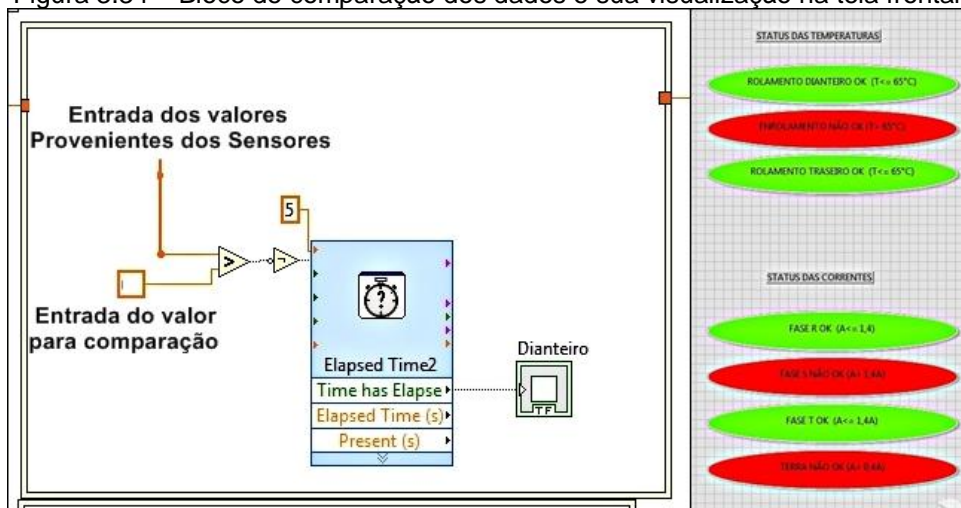
Fonte: Autoria própria, 2015.

Os valores referentes à temperatura e corrente passa por um bloco de comparação, que através de *displays* posicionados na tela frontal, indicam se no estado atual de funcionamento da maquina os valores das correntes e temperaturas estão abaixo ou acima dos valores estabelecidos pelo estudo dos componentes por serem viáveis para seu bom funcionamento. O bloco de comparação da temperatura avalia se os valores estão abaixo do *set point* estabelecido que é fixado em 65°

Celsius, deixando o *display* disposto na tela frontal na cor verde, se o valor estiver igual ou acima de 65° Celsius o display assume o valor vermelho, indicando ao operador uma situação fora do previsto.

O *display* só alerta com a alteração de cor, se os valores se estabilizarem na mudança entre acima ou abaixo do set point, sendo que para a mudança de cor do display os valores devem permanecer mais de 5 segundos acima ou abaixo do valor de set point. O mesmo procedimento ocorre com os valores referentes a corrente no sistema de alimentação do motor elétrico de indução, onde o valor de *set point* foi estabelecido em 1,4 A para as fases e 0.4 para o neutro, sendo que abaixo deste valor são considerados como normais. A figura 3.34 mostra o bloco responsável pela comparação dos dados e sua visualização na tela frontal.

Figura 3.34 – Bloco de comparação dos dados e sua visualização na tela frontal.



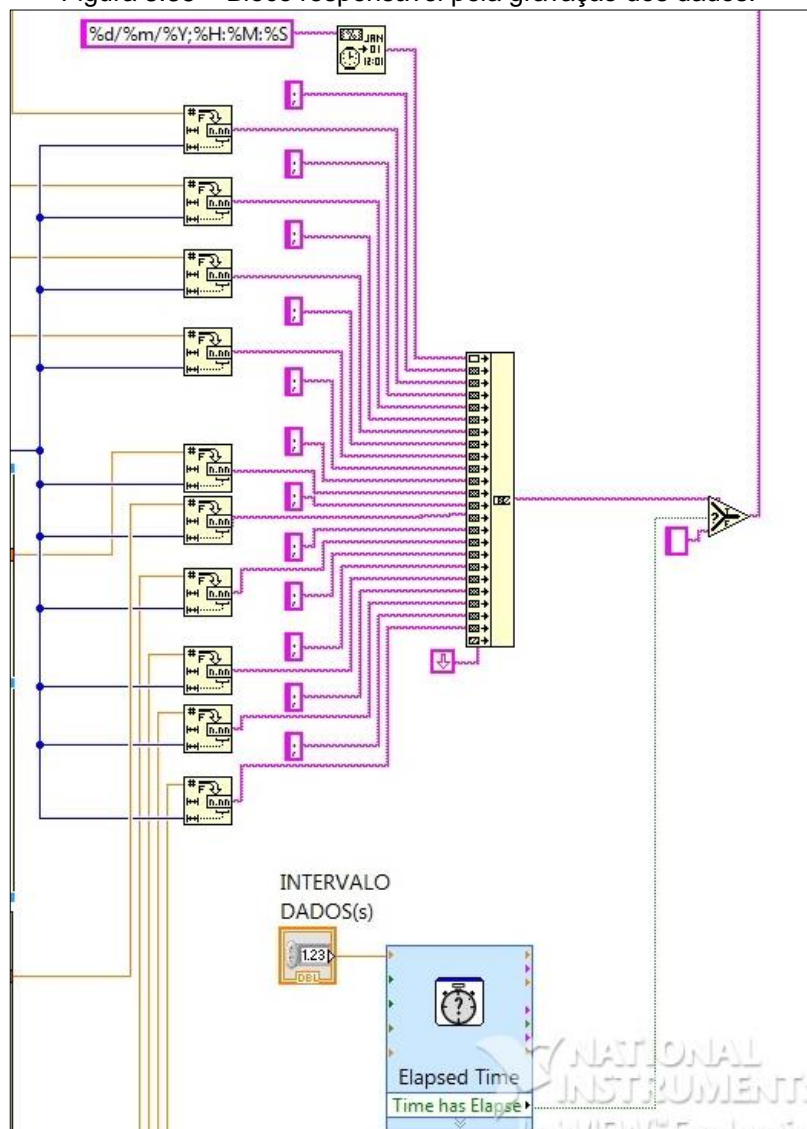
Fonte: Autoria própria, 2015.

3.7.4 Armazenamento e arquivamento dos dados

A aplicação possibilita que todos os dados dos sinais coletados sejam enviados para planilhas do Microsoft Excel, para que possam ser tratados e interpretados em diversas ferramentas matemáticas. Para que sejam criadas as planilhas todos os sinais dos sensores recebidos e convertidos em suas respectivas grandezas físicas numéricas são convertidos para *strings*. Os sinais são enviados ao bloco de concatenamento que organiza os sinais e os relaciona com as informações de data e hora que são coletados.

Os dados organizados são enviados para o bloco de seleção que tem como função retornar o valor ligado à entrada T ou F, dependendo do valor de S. Quando o valor de S for verdadeiro a função envia a sua saída o valor ligado a T, que na programação efetuada são os dados tratados para o armazenamento. Quando S é falso a função retorna o valor ligado a F que no caso da programação é nenhum valor, a partir desta função é possível configurar o intervalo entre uma gravação e a próxima, aplicando na entrada S uma função que varia o seu valor entre verdadeiro e falso em decorrência do tempo aplicado pelo usuário no *display* disposto no painel frontal. Assim os dados são enviados ao bloco que é responsável por gravar os valores dos *strings* em formato de linhas e colunas no Microsoft Excel. A figura 3.35 mostra o bloco responsável pela gravação dos dados.

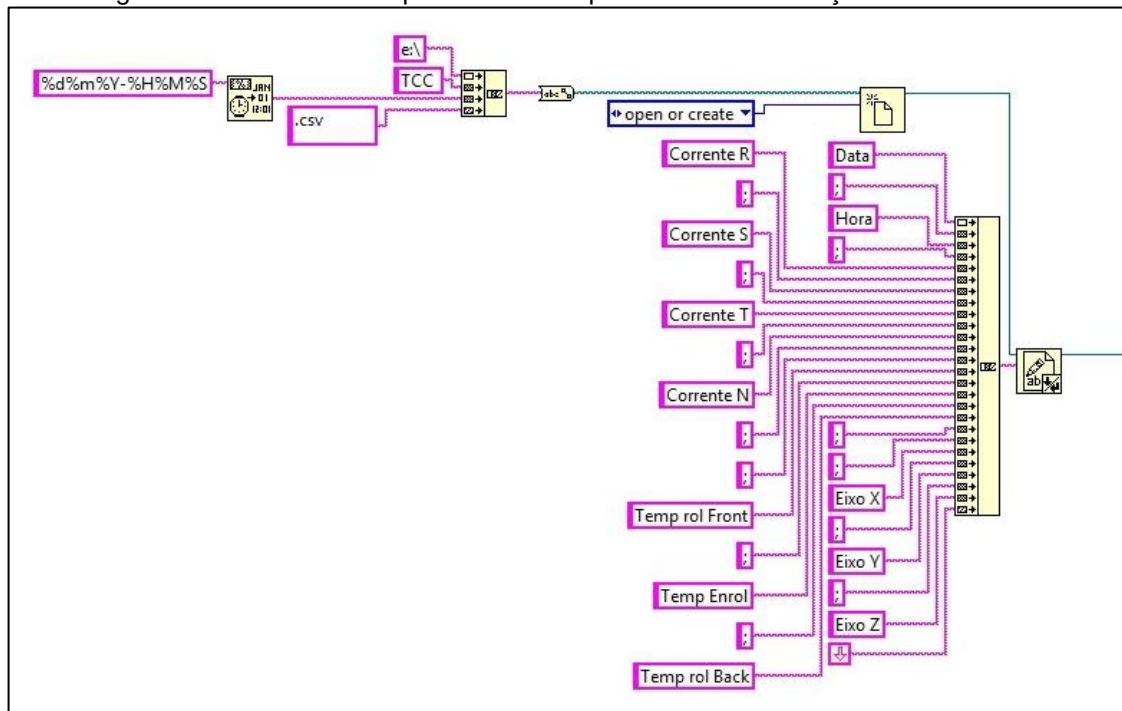
Figura 3.35 – Bloco responsável pela gravação dos dados.



Fonte: Autoria própria, 2015.

A aplicação gera os relatórios nomeando-os com data e horário da sua inicialização, são apontados pelo cabeçalho da onde o sinal é proveniente, possibilitando o arquivamento dos dados da maquina em planilhas individuais, para cada momento em que a aplicação for iniciada. Permitindo que os dados sejam copiados para posterior análise em diversos *softwares*, sem a necessidade de um sistema de gerenciamento de banco de dados para sua realização. A figura 3.36 mostra o bloco de arquivamento das planilhas e identificação dos dados.

Figura 3.36 – Bloco de arquivamento das planilhas e identificação dos dados.



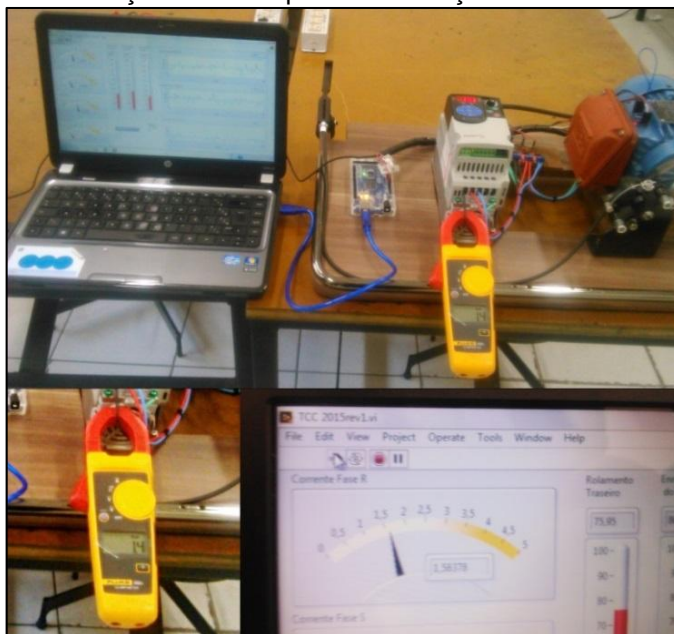
Fonte: Autoria própria, 2015.

3.8 Verificação e análise dos dados coletados

Os dados mostrados em tempo real no painel frontal da aplicação são comparados com os medidos em instrumentos físicos simultaneamente. A verificação dos dados relacionados à corrente enviada pelo inversor de frequência para o controle do motor deve ser feita utilizando um alicate amperímetro *true-rms*, pois a corrente gerada no inversor não flui simetricamente com a tensão aplicada, pois ocorre em pulsos curtos, produzindo um efeito drástico em uma leitura com um alicate de corrente sem a função *true-rms*.

A comparação entre os valores medidos na interface e no instrumento proporciona um erro de aproximadamente 7% para 100 amostras em relação às duas medições, procedimento efetuado para cada fase e no neutro. A figura 3.37 mostra a medição efetuada para a verificação dos valores da corrente.

Figura 3.37 – Medição efetuada para a verificação dos valores da corrente.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Para a medição da temperatura interna do motor é utilizado um termômetro de Infravermelho de precisão para medições sem contato, os dados obtidos na medição efetuada no LabVIEW e no termômetro mostraram um erro de apenas 10% para 30 amostras. O valor do erro encontrado é extremamente baixo devido à medição feita pelo LM35 estar no lado interno da carcaça do motor. Os dados relacionados ao nível de vibração são testados forçando picos de vibração direcionados a cada eixo de medição. A resposta do acelerômetro é instantânea, gerando um pico no valor da aceleração no momento em que é forçado o erro. Para essa medição não é realizada nenhuma comparação com um instrumento físico de medição, pois este não está disponível para utilização.

Para a efetuação da análise dos dados coletados é usado como base o *software* Microsoft Excel, onde é criada uma planilha mestre para receber os dados gerados pela aplicação de monitoramento. A análise dos dados coletados é efetuada através de uma análise com base na estatística descritiva, transformada de Fourier e

em forma gráfica, com o intuito de apontar a correlação entre os níveis das grandezas físicas coletadas, confrontando todos os dados coletados. A figura 3.38 ilustra o fluxo dos dados.

Figura 3.38 – Fluxo dos dados.



Fonte: Autoria própria, 2015.

A planilha de entrada recebe os valores provenientes de cada sensor, ela conta com uma coluna para o cálculo do módulo da aceleração, onde os dados provenientes de cada eixo do acelerômetro MMA 7361 são elevados ao quadrado e somados, após a soma dos quadrados é retirada a raiz quadrada. A figura 3.39 mostra a planilha de entrada de dados.

Figura 3.39 – Planilha de entrada de dados.

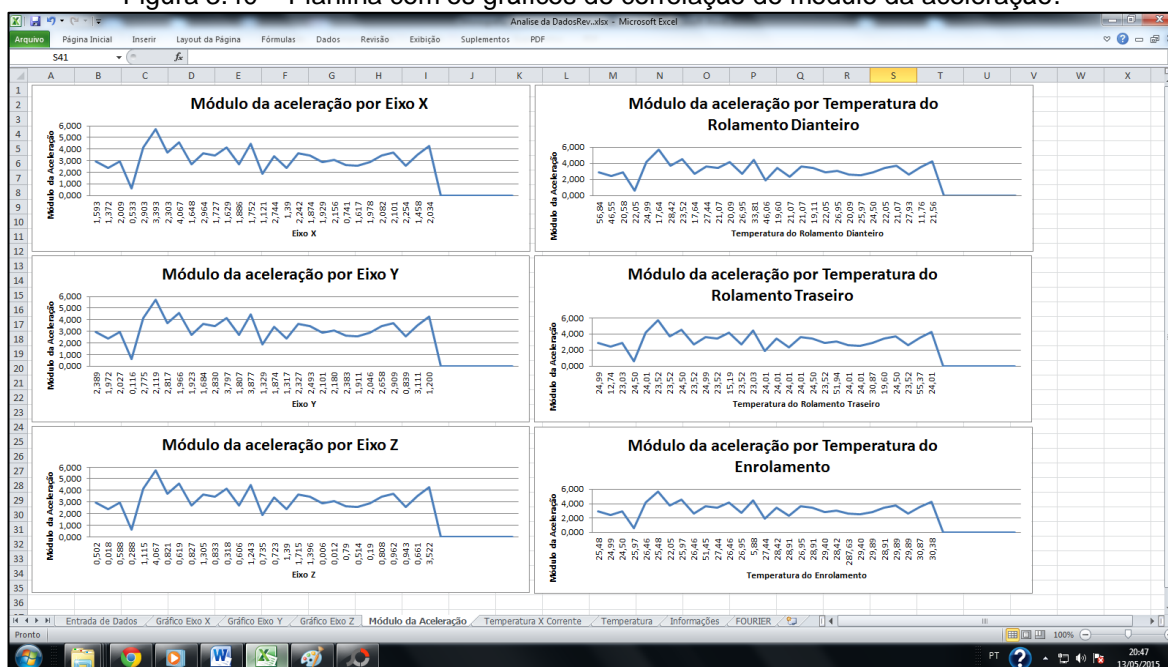
The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Análise de Dados - Microsoft Excel". The spreadsheet contains a table with the following columns: Data, Hora, Corrente X, Corrente Y, Corrente Z, Corrente N, Temp rol front, Temp Enrol Temp rol Back, Eixo X, Eixo Y, Eixo Z, and Módulo da aceleração. The data rows start from 06/05/2015 and continue down to 06/05/2015 09:37:11. A yellow box highlights cell P2, which contains the formula "=A2+B2". A note next to the formula states: "é a Razão da soma dos quadrados dos eixos." (it is the ratio of the sum of the squares of the axes). The spreadsheet is divided into several tabs at the bottom: "Página Inicial", "Inserir", "Layout da Página", "Formulas", "Dados", "Referência", "Extensões", "Suplementos", and "PDF". The "Entrada de Dados" tab is currently selected.

Fonte: Autoria própria, 2015.

Os valores gerados no módulo da aceleração correspondem ao nível global de vibração dissipado no sistema pelo motor elétrico de indução, estas amostras podem ser analisadas através de comparações com padrões gerais ou valores de referências definido para cada máquina. São desenvolvidas planilhas onde os dados do modulo de aceleração são correlacionados em forma gráfica com todos os valores provenientes dos sensores implantados no sistema.

A geração destes gráficos tem a função de apontar a relação entre as grandezas físicas, que afetam o bom funcionamento do equipamento, pois como visto na fundamentação teórica os dados relacionados apontam com mais exatidão a causa da falha em um motor elétrico. Esta correlação é efetuada para todos os valores referentes à vibração dos eixos do MMA 7361. A figura 3.40 mostra a planilha com os gráficos de correlação do modulo da aceleração.

Figura 3.40 – Planilha com os gráficos de correlação do modulo da aceleração.

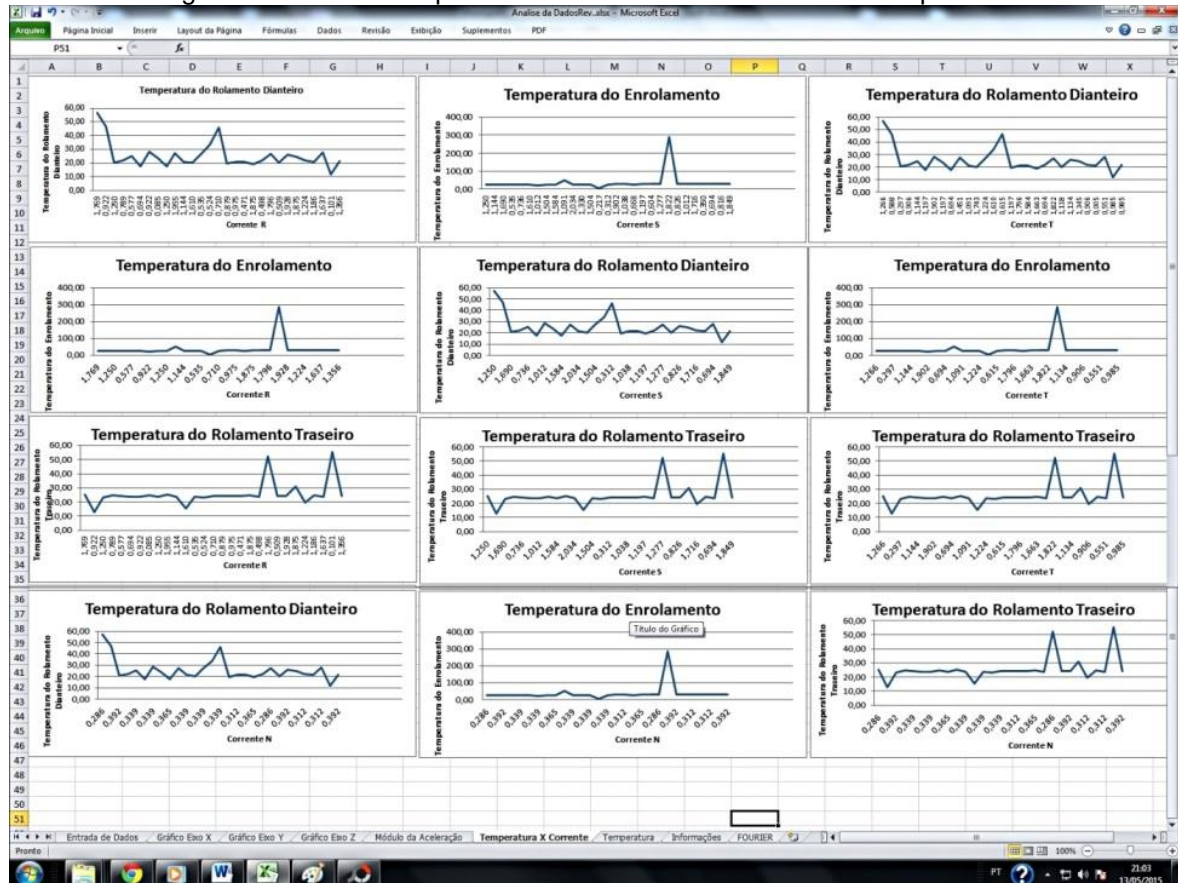


Fonte: Autoria própria, 2015.

Os valores da temperatura provenientes de cada LM35 são plotados em gráficos, em relação ao tempo e aos valores de corrente proveniente dos sensores ACS712. Pois a queda de tensão diminui o fluxo magnético, levando o motor a requerer mais corrente para manter o escorregamento, com o aumento da corrente as perdas aumentam e o motor se aquece. Uma elevação acelerada da temperatura

no enrolamento pode ocasionar danos irreversíveis ao funcionamento do motor elétrico de indução, tornado assim a relação entre os dados de temperatura e corrente fundamental. A figura 3.41 mostra a planilha que confronta os dados de corrente e temperatura.

Figura 3.41 – Planilha que confronta os dados de corrente e temperatura.



Fonte: Autoria própria, 2015.

É desenvolvida uma planilha que comporta uma análise de estatística descritiva referente a todos os valores coletados, nesta análise é efetuada o cálculo da média, erro padrão, mediana, modo, desvio padrão, variância entre amostras, curtose, assimetria, intervalo entre amostragens, valor máximo e mínimo, soma e número de dados analisados. Esta análise tem a finalidade de fornecer resumos simples sobre as amostras dos sinais dos sensores. Esses resumos tem o intuito de formar uma base para uma descrição inicial dos dados como parte de uma análise estatística mais complexa. Nesta análise os dados não são confrontados, são analisados individualmente. A figura 3.42 mostra a planilha que efetua a análise da estatística descritiva.

Figura 3.42 – Planilha que efetua a análise da estatística descritiva.

Análise da Estatística Descritiva - Microsoft Excel															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Eixo X			Eixo Y			Eixo Z								
2															
3	Média	1,982758621		Média	2,164724138		Média	0,948862069							
4	Erro padrão	0,136251349		Erro padrão	0,147835382		Erro padrão	0,166922962							
5	Mediana	1,929		Mediana	2,101		Mediana	0,79							
6	Modo	#N/D		Modo	#N/D		Modo	#N/D							
7	Desvio padrão	0,733735971		Desvio padrão	0,796117898		Desvio padrão	0,898907659							
8	Variação da amostra	0,538368475		Variação da amostra	0,633803707		Variação da amostra	0,80803498							
9	Curtose	1,626280144		Curtose	1,063467195		Curtose	6,271723877							
10	Assimetria	0,747582172		Assimetria	-0,124831964		Assimetria	2,337350642							
11	Intervalo	3,534		Intervalo	3,761		Intervalo	4,061							
12	Mínimo	0,533		Mínimo	0,116		Mínimo	0,006							
13	Máximo	4,067		Máximo	3,877		Máximo	4,067							
14	Soma	57,5		Soma	62,777		Soma	27,517							
15	Contagem	29		Contagem	29		Contagem	29							
16															
17	Temperatura Rolamento Dianteiro			Temperatura Enrolamento			Temperatura Rolamento Traseiro								
18															
19	Média	25,46310345		Média	36,58103448		Média	25,39551724							
20	Erro padrão	1,770478986		Erro padrão	9,04494254		Erro padrão	1,563775634							
21	Mediana	22,05		Mediana	27,44		Mediana	24,01							
22	Modo	21,07		Modo	26,46		Modo	24,01							
23	Desvio padrão	9,534321125		Desvio padrão	48,70850625		Desvio padrão	8,42118951							
24	Variação da amostra	90,90327931		Variação da amostra	2372,518581		Variação da amostra	70,91643276							
25	Curtose	4,158496175		Curtose	27,89358555		Curtose	8,464250448							
26	Assimetria	1,978421771		Assimetria	5,23618501		Assimetria	2,724573609							
27	Intervalo	45,08		Intervalo	281,75		Intervalo	42,63							
28	Mínimo	11,76		Mínimo	5,88		Mínimo	12,74							
29	Máximo	56,84		Máximo	287,63		Máximo	55,37							
30	Soma	738,43		Soma	1060,85		Soma	736,47							
31	Contagem	29		Contagem	29		Contagem	29							
32															
33															
34	Corrente R			Corrente S			Corrente T			Corrente N					
35															
36															
37	Média	1,070551724		Média	1,149103448		Média	1,12791034		Média	0,343448276				
38	Erro padrão	0,104161992		Erro padrão	0,093446236		Erro padrão	0,087260819		Erro padrão	0,00675241				
39	Mediana	0,975		Mediana	1,144		Mediana	1,144		Mediana	0,339				
40	Modo	0,922		Modo	1,012		Modo	1,197		Modo	0,312				
41	Desvio padrão	0,560929496		Desvio padrão	0,513455197		Desvio padrão	0,469913893		Desvio padrão	0,03636284				
42	Variação da amostra	0,314641899		Variação da amostra	0,263636239		Variação da amostra	0,220819067		Variação da amostra	0,001322256				
43	Curtose	-1,051586834		Curtose	-0,983866866		Curtose	-0,141974084		Curtose	-0,875965487				
44	Assimetria	0,09605495		Assimetria	-0,075783857		Assimetria	-0,342946623		Assimetria	0,251668385				
45	Intervalo	1,87		Intervalo	1,817		Intervalo	1,897		Intervalo	0,132				
46	Mínimo	0,085		Mínimo	0,217		Mínimo	0,005		Mínimo	0,286				
47	Máximo	1,955		Máximo	2,034		Máximo	1,902		Máximo	0,418				
48	Soma	31,046		Soma	33,324		Soma	32,71		Soma	9,902				
49	Contagem	29		Contagem	29		Contagem	29		Contagem	29				
50															

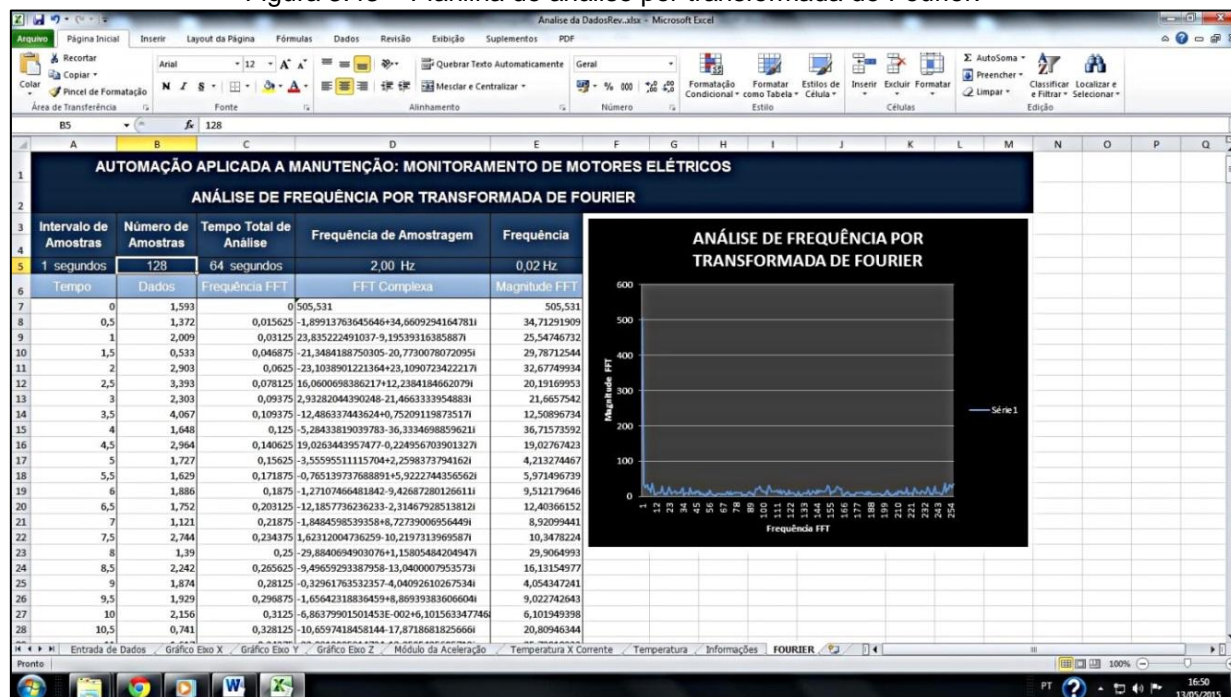
Fonte: Autoria própria, 2015.

Os dados referentes ao nível global de vibração e de cada eixo de movimentação do acelerômetro são enviados a uma planilha, onde os valores são analisados através da função da análise de Fourier, por determinação do *software* o número de dados analisados tem que ser uma potência de dois. Esta função possibilita encontrar as frequências dominantes no espectro que são geradas em uma coluna em forma de números complexos, que através da função IMABS são transformados em números reais. Esta planilha conta com uma coluna que recebe os valores referentes à frequência de FFT, que é a somatória sucessiva da frequência de amostragem dividida pelo número de dados analisados.

Os valores gerados pela análise de Fourier são convertidos em números reais e plotados em um gráfico em relação à frequência FFT. Esta análise gráfica faz o levantamento do espectro de frequência de referência para cada ponto de medida. Dessa forma é possível comparar espectros de frequência do motor de indução trifásico trabalhando em condições normais e em condições onde são forçadas as falhas, identificando as alterações e gerando um banco de dados para frequências

características de falhas dos diversos elementos de máquinas. A figura 3.43 mostra a planilha de análise por transformada Fourier.

Figura 3.43 – Planilha de análise por transformada de Fourier.



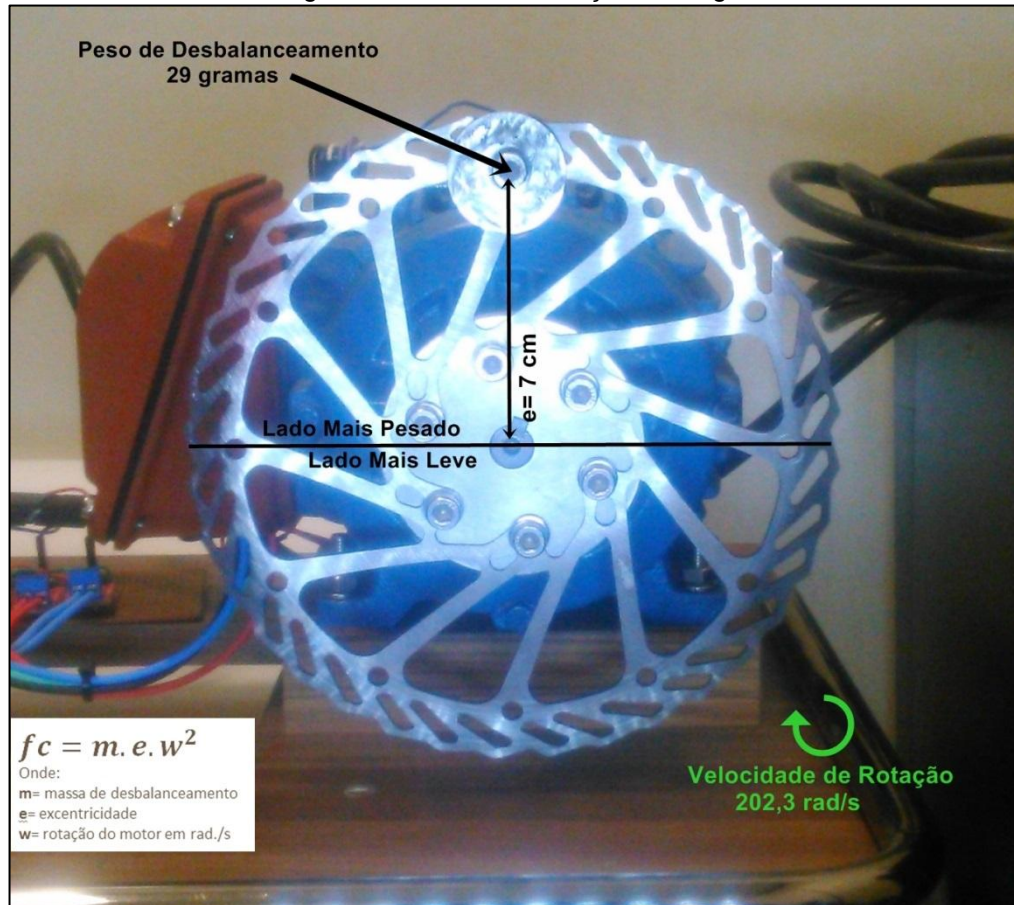
Fonte: Autoria própria, 2015.

Após a efetuação da validação dos dados provenientes dos sensores e a geração e verificação do funcionamento das planilhas do Excel são coletados dados referentes ao funcionamento do motor elétrico em seu estado normal. Para efeito de comprovação do funcionamento do conjunto é gerado no acoplamento do motor um desbalanceamento de carga, que é uma falha gerada pela distribuição não uniforme da carga em torno do eixo de rotação.

Para a geração do desbalanceamento são aplicados diversos valores de peso e distância do eixo de acoplamento do rotor, com o cuidado para que este desbalanceamento forçado não danificar permanentemente o funcionamento da máquina. São apresentados os dados referentes ao desbalanceamento gerado por uma carga de 29 gramas, a uma excentricidade de 7 centímetros do eixo de rotação do rotor e uma frequência de 32,2 Hz, gerando uma força centrífuga de aproximadamente 828 Newtons. A elevação de peso em apenas um lado do rotor faz com que a força centrífuga atuante neste lado, seja maior a força centrífuga

atuante no lado oposto, forçando assim o lado mais leve na direção do mais pesado, esta força leva o conjunto à vibração, como ilustra a figura 3.44.

Figura 3.44 – Efeito da força centrífuga.



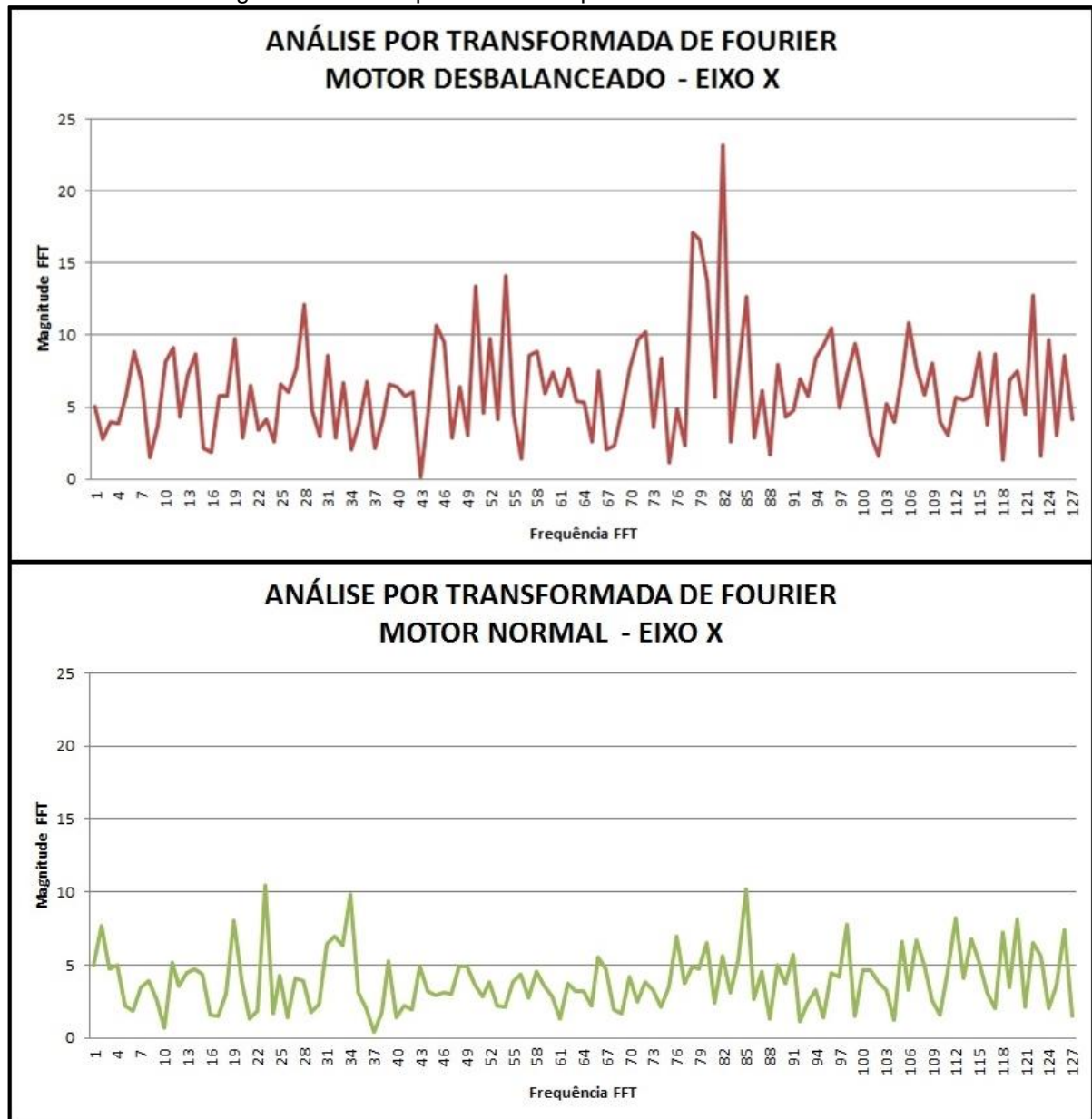
Fonte: Autoria própria, 2015.

São realizadas 30 amostragens do funcionamento do motor em seu estado normal e 30 para os dados com o rotor desbalanceado, com o intuito de aferir os dados. Para o levantamento gráfico e estatístico são utilizados os dados a partir da estabilização do processo, com este procedimento é verificado que os dados referentes às amostragens seguem o mesmo padrão, a partir desta verificação é efetuada a comparação dos dados referentes ao motor em seu estado normal de funcionamento e o com o efeito do desbalanceamento.

É realizada a análise espectral por transformada de Fourier dos dados referentes à vibração de cada eixo de movimentação do acelerômetro MMA 7361, onde os valores referentes à vibração no eixo X se mostram com maior intensidade.

Alcançando em sua amplitude de deslocamento um pico de 23,2 mm, mostrando a alteração do sinal que ocorre a uma frequência de 82 Hz FFT, que indica o defeito analisado. O comparativo do espectro referente à análise pela transformada de Fourier dos valores do eixo X do acelerômetro para o motor normal e o com efeito do desbalanceamento é mostrado na figura 3.45.

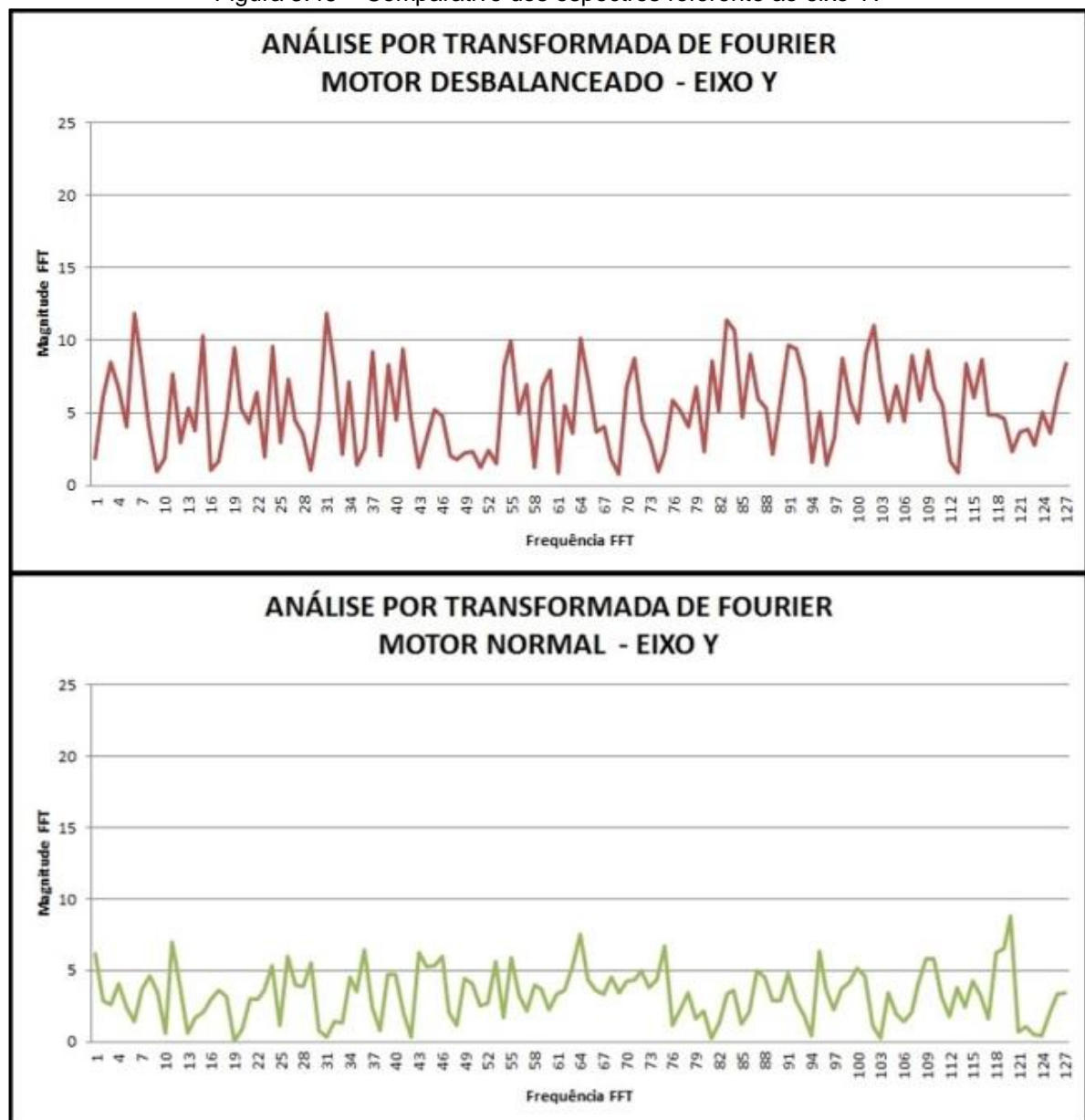
Figura 3.45 – Comparativo dos espectros referente ao eixo X.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Os valores referentes ao eixo Y possuem uma pequena variação, estes valores se mostram corretos, devido ao eixo Y representar a movimentação na mesma linha do eixo do rotor. Este eixo alcança sua amplitude de deslocamento em um pico de 11,8 mm, a menor variação do valor de pico dos valores dos eixos com a comparação dos espectros do motor normal e desbalanceado, como mostra a figura 3.46.

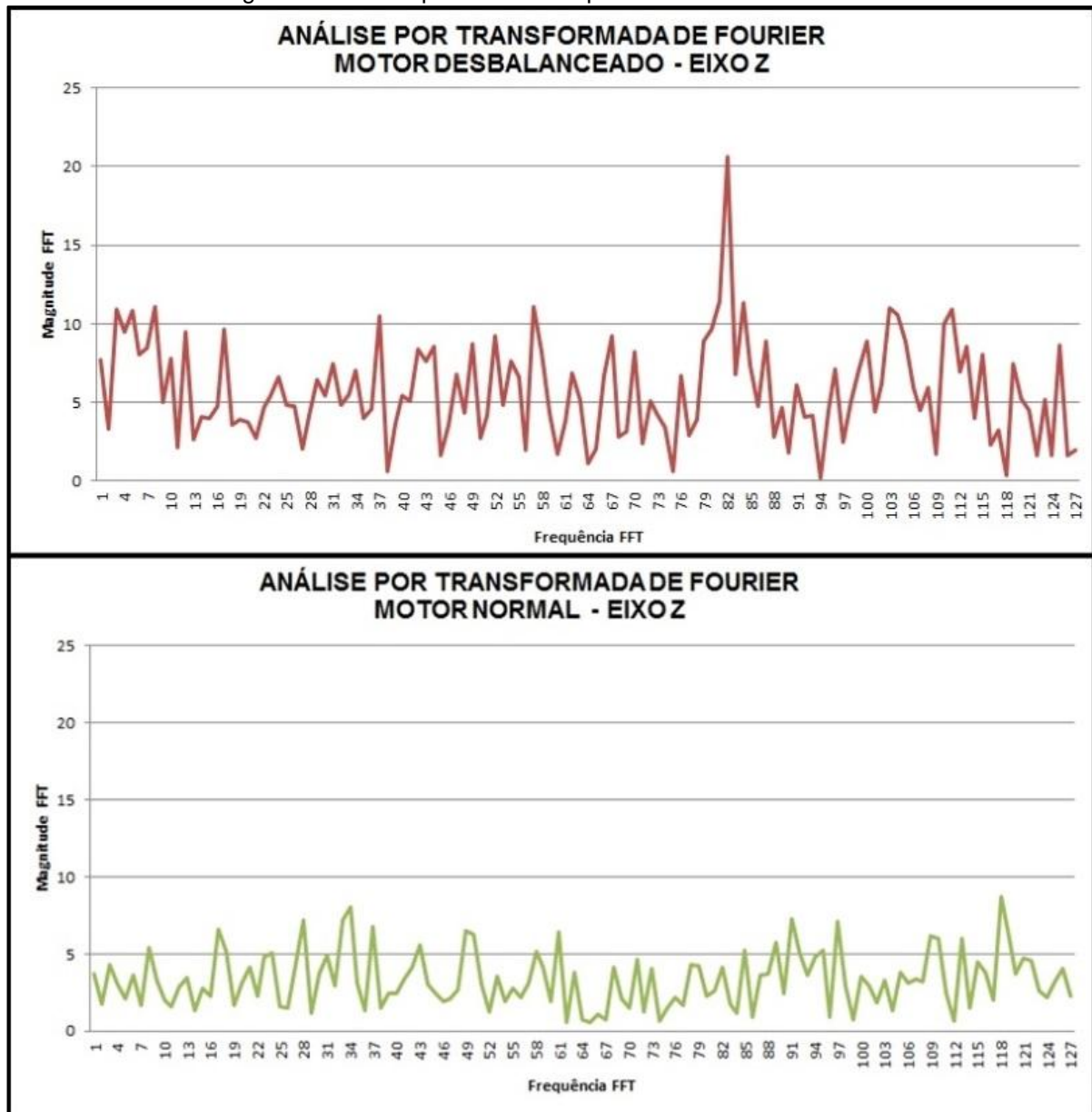
Figura 3.46 – Comparativo dos espectros referente ao eixo Y.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Os valores referentes à vibração do eixo Z mostram intermediários entre os eixos X e Y, alcançando em sua amplitude um pico de 20,6 mm na frequência de 82 Hz FFT. O comparativo entre o espectro referente à análise de Fourier dos valores do eixo Z para o motor normal e o com efeito do desbalanceamento é mostrado na figura 3.47.

Figura 3.47 – Comparativo dos espectros referente ao eixo Z.

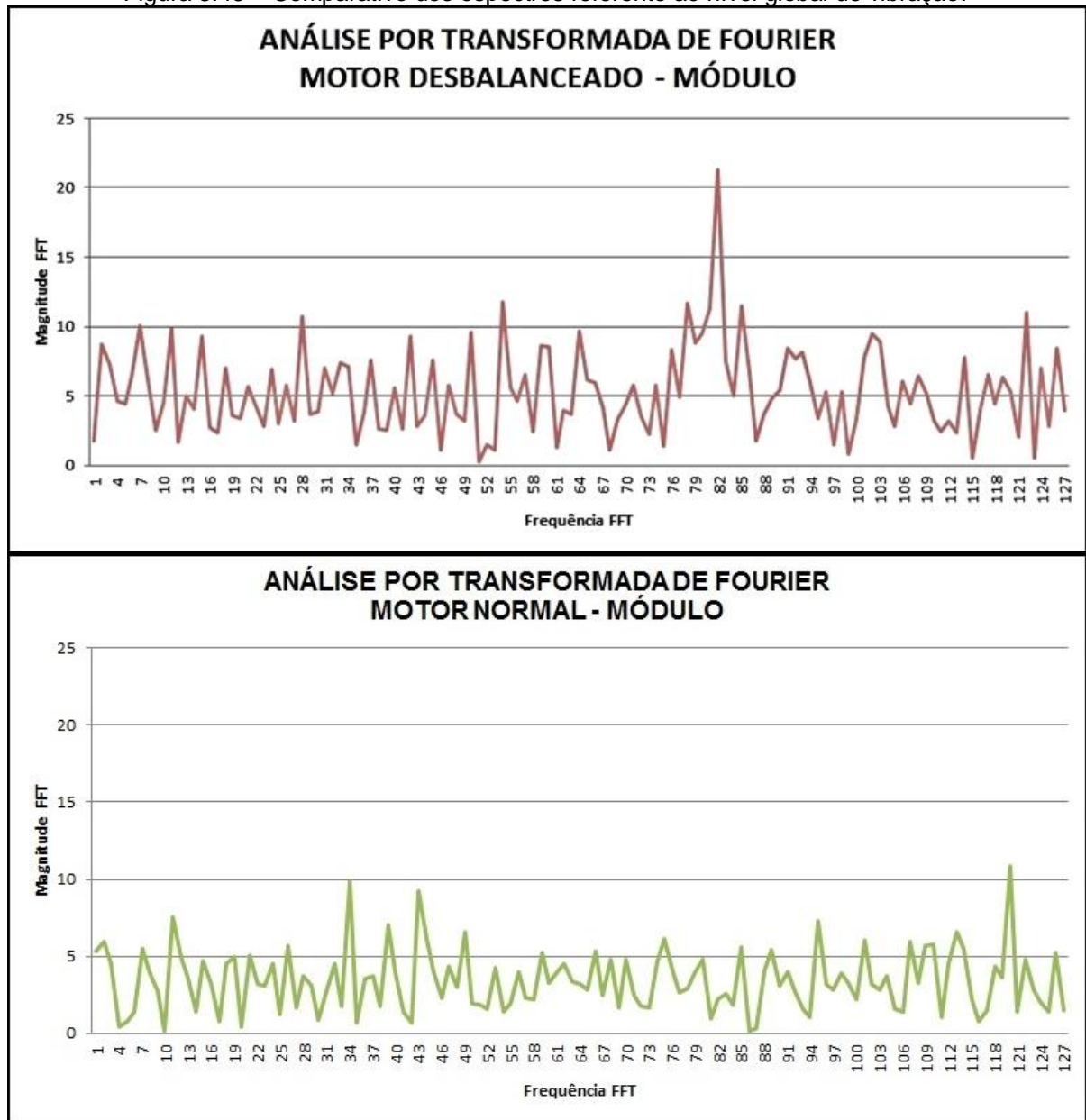


Fonte: Autoria própria, 2015.

Para efeito de validação dos dados de cada eixo é analisado os dados referentes ao seu módulo, que representam o nível global, esta análise mostra em sua amplitude de deslocamento 21,2 mm em uma frequência de 82 Hz FFT. O

comparativo do espectro referente à análise pela transformada de Fourier entre o nível global de vibração do motor normal e com o efeito do desbalanceamento é ilustrada na figura 3.48.

Figura 3.48 – Comparativo dos espectros referente ao nível global de vibração.



Fonte: Autoria própria, 2015.

A partir da análise de vibração e a constatação de que a falha no motor é referente ao seu desbalanceamento é possível correlacionar os níveis de vibração ao aumento da corrente em duas fases, isto para vencer o peso extra e manter o conjugado, que é a medida do esforço necessário para girar um eixo. O aumento da corrente faz com que os dois enrolamentos alimentados pelas fases com a corrente

excessiva, tenha um acréscimo em seu nível de temperatura, que com o tempo leva a deterioração da resina isolante destes enrolamentos, levando-os a queima. A diferença dos valores da corrente em duas fases e uma comparação com os dados referentes ao motor em seu estado normal é ilustrada na figura 3.49.

Figura 3.49 – Diferença dos valores da corrente em duas fases.

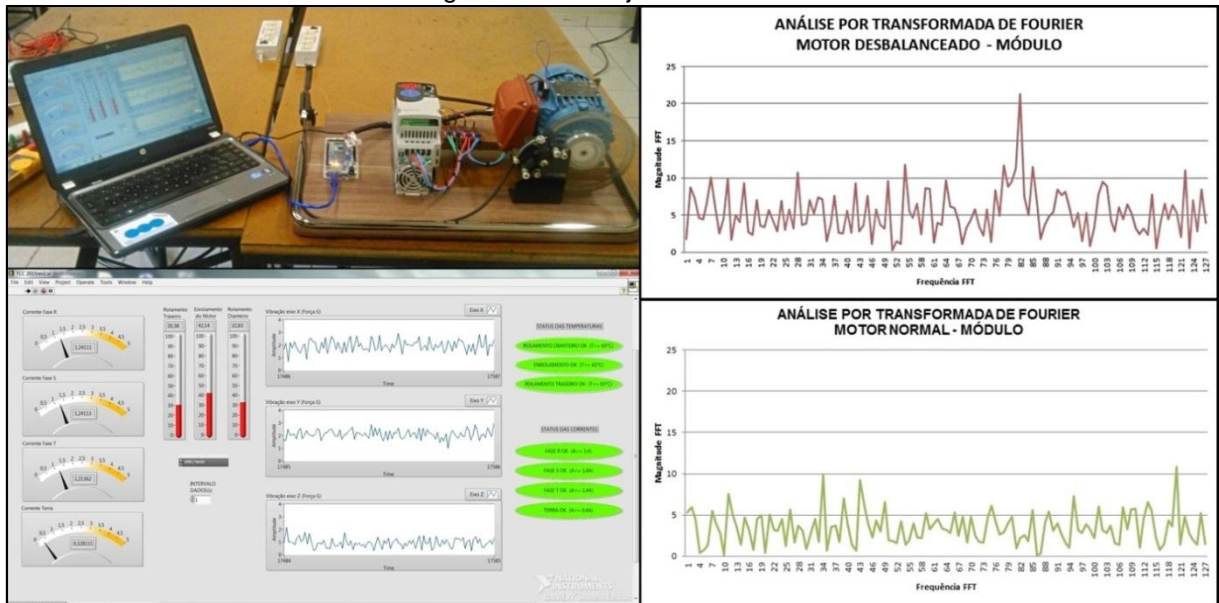
Dados Referentes ao Motor com Efeito do Desbalanceamento					
Corrente R		Corrente S		Corrente T	
Média	1,227291105	Média	1,22802965	Média	1,202522911
Erro padrão	0,00057716	Erro padrão	0,000606506	Erro padrão	0,000633552
Mediana	1,226	Mediana	1,228	Mediana	1,202
Modo	1,227	Modo	1,228	Modo	1,204
Desvio padrão	0,011116893	Desvio padrão	0,011682127	Desvio padrão	0,012203074
Variância da amostra	0,000123585	Variância da amostra	0,000136472	Variância da amostra	0,000148915
Curtose	0,358660704	Curtose	1,939842221	Curtose	0,673109604
Assimetria	0,472062114	Assimetria	0,115420058	Assimetria	0,581212275
Intervalo	0,066	Intervalo	0,092	Intervalo	0,074
Mínimo	1,196	Mínimo	1,185	Mínimo	1,177
Máximo	1,262	Máximo	1,277	Máximo	1,251
Soma	455,325	Soma	455,599	Soma	446,136
Contagem	256	Contagem	256	Contagem	256
Dados Referentes ao Motor em seu Funcionamento Normal					
Corrente R		Corrente S		Corrente T	
Média	1,218528302	Média	1,213307278	Média	1,212733154
Erro padrão	0,00089678	Erro padrão	0,001061855	Erro padrão	0,000782152
Mediana	1,216	Mediana	1,215	Mediana	1,192
Modo	1,208	Modo	1,216	Modo	1,187
Desvio padrão	0,017273198	Desvio padrão	0,020452778	Desvio padrão	0,015065316
Variância da amostra	0,000298363	Variância da amostra	0,000418316	Variância da amostra	0,000226964
Curtose	-0,213682328	Curtose	-0,451766487	Curtose	0,49261221
Assimetria	0,113258527	Assimetria	0,119678675	Assimetria	0,45898621
Intervalo	0,095	Intervalo	0,112	Intervalo	0,089
Mínimo	1,167	Mínimo	1,165	Mínimo	1,162
Máximo	1,223	Máximo	1,224	Máximo	1,221
Soma	452,074	Soma	450,137	Soma	442,504
Contagem	256	Contagem	256	Contagem	256

Fonte: Autoria própria, 2015.

A partir do bom funcionamento de todo o conjunto e com os resultados obtidos, é considerado que mesmo com as dificuldades enfrentadas pela inviabilidade econômica da compra da placa de aquisição de dados na National Instruments, os resultados obtidos são extremamente satisfatórios. O uso da placa de aquisição Arduino mesmo viabilizando o projeto trouxe consigo a limitação em relação ao sinal de saída gerado, pois como a placa de aquisição da National Instruments possui um condicionamento de sinal próprio em sua saída, impossibilitou a análise espectral diretamente no LabVIEW. A solução encontrada possibilitou que a análise seja feita em qualquer computador que tenha o pacote Office e assim viabilizando ainda mais a análise por qualquer profissional que tenha acesso as planilhas geradas pela aplicação.

O projeto possibilitou uma integração de uma gama imensa dos componentes curriculares que são ministrados no curso de automação industrial, fortalecendo as bases teóricas e praticas de todos os envolvidos na execução do projeto. A figura 3.50 ilustra o projeto finalizado.

Figura 3.50 – Projeto finalizado.



Fonte: Autoria própria, 2015.

Após a finalização do projeto é construído um texto onde são expressas as considerações finais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de análise e coleta de dados por instrumentação virtual tornaram-se ao longo do tempo uma ferramenta fundamental na boa gestão da manutenção preditiva, passando a ser utilizadas em longa escala em grandes indústrias. Visando o desenvolvimento de um sistema de análise para manutenção preditiva, com um custo compatível com a realidade de pequenas e médias indústrias, é desenvolvido o projeto **Automação Aplicada à Manutenção: Monitoramento de Motores Elétricos**. Os motores elétricos são equipamentos de uso vital na produção industrial e a análise da sua condição de funcionamento é fundamental para se evitar paradas não programadas da produção ou prejuízos envolvendo substituição desnecessária de elementos da máquina.

Desta forma este trabalho tem como objetivo a criação de um sistema supervisor a partir da plataforma LabVIEW, para o monitoramento e aquisição de dados referentes à vibração, corrente e temperatura em motores elétricos, arquivando os dados para posterior análise, e emitindo alertas em sua tela frontal para indicação de alterações, com o propósito de colaborar com o diagnóstico de defeitos.

Para os testes de campo é desenvolvida uma bancada experimental, que conta com um motor elétrico de indução trifásico com seu acionamento e controle realizado através de um inversor de frequência. Os dados são coletados a partir de sensores que foram implantados no motor e em suas linhas de alimentação, sensores que contam com filtros para a eliminação de ruídos. É introduzido ao acoplamento do motor um disco de freio com a finalidade de simular a variação de carga e a introdução de falhas.

Os dados são coletados por uma placa de aquisição que funciona como uma interface entre os sensores e o ambiente virtual. O sistema de aquisição de dados proporciona uma economia de 99% em relação ao que se utiliza no mercado, mas sua utilização limita a análise dos dados de vibração na plataforma LabVIEW, o que veio a ser um diferencial positivo ao projeto, pois esta dificuldade tornou a análise mais acessível a qualquer pessoa envolvida no processo.

Os dados são coletados e gravados através de uma aplicação virtual que utiliza a plataforma LabVIEW para a geração de sua programação e funcionamento. A programação no LabVIEW tem a propriedade de simular em um ambiente virtual, dispositivos e equipamentos físicos. A programação é dividida em blocos que contém as rotinas a serem executadas para aquisição dos sinais provenientes dos sensores, arquivamento dos dados e visualização dos sinais. A aplicação coleta dados referentes à vibração, temperatura e corrente por serem parâmetros decisivos nos diagnósticos de vários tipos de falhas como desalinhamento de eixos, desbalanceamento de massa, desgaste dos rolamentos, falhas no sistema de ventilação, sobrecarga, barras quebradas ou trincadas e ainda, desbalanceamento de tensão, subtensão e sobretensão.

As análises dos dados são feitas graficamente e estatisticamente utilizando o *software* Microsoft Excel, disponível em qualquer computador que possua o pacote *Office*. Os dados são analisados através da correlação das grandezas físicas monitoradas e a partir da análise espectral do sinal de vibração utilizando a transformada de Fourier.

São realizadas análises com os dados referentes ao funcionamento do motor elétrico em seu funcionamento normal e com a introdução de falhas, que se mostram extremamente satisfatórias. Com os valores estáveis e sem a interferência de ruídos, e principalmente com o apontamento da variação nos níveis das grandezas físicas monitoradas, que apontam a intensidade e a causa do defeito no motor elétrico. Tornando o sistema de monitoramento válido para a introdução nas indústrias, apresentando um custo extremamente baixo em relação aos disponíveis atualmente no mercado, com um nível de excelência.

Este é um trabalho que tem um âmbito amplo para possíveis melhorias, por sua complexidade. Como sugestão para projetos futuros fica a utilização do LabVIEW para a análise espectral, com o apontamento de defeitos feito através de filtros próprios para cada tipo de falha.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. T. **Análise de vibrações na manutenção preditiva de motores elétricos**. Itajubá: Technical report- Fupai, 1996.

ANTONIOLLI, E. B. **Estudo comparativo de técnicas de medição e análise de vibrações para a manutenção em mancais de rolamentos**. Florianópolis: UFSC, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

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

COSTA, C. d., & MATHIAS, M. H. **Análise de Vibrações Mecânicas com FPGA**. São Paulo: Saber Eletrônica , 2008.

DEL TORO, Vincent. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, c1994.

FIALHO, B. A., **Instrumentação Industrial**. São Paulo: Érica, 2003.

FATEC SÃO BERNARDO. **Manual de normalização de trabalho de conclusão de curso**. 2.Ed. São Bernardo do Campo, 2013.

FILIPPO FILHO, G. **Motor de indução**. São Paulo: Érica, 2000.

FRANCISCO, Antônio. **Motores Eléctricos** 2.ed. São Paulo: Editora Etep, 2009.

GIRDHAR, Paresh; SCHEFFER, Cornelius. **Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance**. Burlington: Newnes, 2004.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Função Estratégica**, 2.ed. Rio de Janeiro: Editora Quality Mark, 2004.

LATHI, B. **Sinais e Sistemas Lineares**, 2.ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Bookman, 2007.

MARRA J. L. **Apostila - Vibrações Mecânicas**. São Paulo: USP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: POLI, 1998.

MURPHY, B., VANCE, J. & ZEIDAN, F. **Machinery Vibration and Rotordynamics**. Hoboken, N.J.:Wiley, 2010

NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda.; 1989.

NATIONAL INSTRUMENTS. **LabVIEW core1 Manual do aluno curso**. Edição dezembro/2012.Texas, 2012.

OBENHAUS, R.E., **Motor thermal protection minimizes downtime**, in Electric Motor Manual, p. 99-102. McGraw-Hill, 1987.

PALLÁS-ARENY, Ramon; WEBSTER, John G.; **Sensor and Signal Conditioning**. 2 ed. Wiley & Sons, 2000.

PINTO, A. K., & NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**, 2 ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: Qualitymark Editora, 2002.

SEVERINO, Antonio Joaquim – **Metodologia de trabalho científico**. 21.ed. São Paulo: Cortez, 2000.

SINHA, A. **Vibration of Mechanical Systems**. Nova York: Cambridge University Press, 2010.

SOUZA, Valdir Cardoso. **Organização e Gerência da Manutenção – Planejamento, Programação e Controle da Manutenção**. 3.ed. São Paulo: All Print, 2009.

SUMATHI, S., & SUREKHA, P. **LabVIEW based advanced instrumentation systems**. New York: Springer, 2007.

TAVARES, Lourival Augusto. **Manutenção Centrada no Negócio**, 1.ed. Rio de Janeiro: Novo Polo, 2006.

TAYLOR, R. F.; Schultz, J.S. **Chemical and biological Sensors**. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1997.


THOMSON, W. T. e Fenger, M. **Current signature analysis to detect induction motor faults. Industry Applications Magazine**, IEEE 7 (4): 26-34, July- Aug. 2001.

WALLISER, R. F. and Landy C. F., 1994, **Determination of Interbar Current Effects in the Detection of Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors**, IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 9, No.1, March, pp. 152-158.



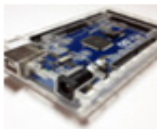



ZAIONS, Douglas Roberto; **consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia; Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ANEXOS

ANEXO A - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS/ NATIONAL INSTRUMENTS

		NIBR3429/14								
		27/06/2014 VERSÃO: 1								
DE: NATIONAL INSTRUMENTS BRAZIL LTDA End: AV PAULISTA, 509 18 ANDAR CONJ. 1808 CEP: 01311-000 - SÃO PAULO / SP Tel: (11) 3149-3149 CNPJ: 01.784.233/0001-95 Fax: (11) 3266-5088 I.E.: 115.196.662.114 www.ni.com/brazil		PARA: HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA humbertobrufatto@msn.com Tel: 11 997 049 406 CPF: Fax: I.E.: End: Tipo:								
Transportadora: VIENA LOG TRANSPORTES AEREOS E TERRESTRES		Forma pagto: COBRANCA BANCARIA - BRADESCO Cond. pagto: PAGAMENTO ANTECIPADO Tipo de frete: 2 = Frete emitente NÃO destacar								
PROPOSTA COMERCIAL PARA AQUISIÇÃO DE PRODUTOS										
ITEM	CODIGO	DESCRIÇÃO	NCM	UN	QTD	VL UNIT C/ ICMS	VL TOTAL C/ ICMS	VL TOTAL C/ ICMS E IPI	% ICMS	% IPI
1	782089-01	RACK COM CONEXAO ETHERNET NI CDAQ-9184 (PN 152778D-01L) DE 4 SLOTS. INCLUI FONTE DE ALIMENTACAO (PN 190415B-01).	84733049	PC	1	3.735,4988	3.735,50	4.295,83	12,00	15,00
2	779001-01	MODULO DE ENTRADA ANALOGICA PARA TERMOPAR NI 9211 (PN 198884C-01L) COM 4 CANAIS DE 80 MILIVOLTS, AMOSTRAGEM DE 14 S/S E 24 BITS DE RESOLUCAO. INCLUI MANUAL DE OPERACAO (PN 323468E-01).	90329099	PC	1	1.328,3083	1.328,31	1.527,56	12,00	15,00
3	779680-01	MODULO NI 9234 (PN 195551B-01L) COM 4 ENTRADAS SIMULTANEAS DE 24 BIT RESOLUCAO, 51.2 KS/s DE AMOSTRAGEM, IEPE SELECIONAVEL POR SOFTWARE E ACOPLAMENTO AC/DC, FILTROS ANTI-ALIASING E RANGE DINAMICO DE 102 DB. INCLUI MANUAL DE INSTRUCAO (PN 324238C-01).	90329099	PC	1	6.676,3341	6.676,33	7.677,78	12,00	15,00
4	779801-01	MODULO NI 9375 (PN 198918C-01L) COM 16 CANAIS DE ENTRADA DIGITAL SINKING E 16 CANAIS DE SAIDA DIGITAL SOURCING COM CONEXÃO TIPO SRING TERMINAL. INCLUI MANUAL DE INSTRUÇÕES (PN 324644B-01)	84733049	PC	1	1.925,7541	1.925,75	2.214,61	12,00	15,00
5	783085-01	CABO DE FORÇA, 220V, 10A	85444200	PC	1	34,3249	34,32	36,04	12,00	5,00
SUB-TOTAL:								15.751,82		
PESO: 1,940 kg MOEDA: R\$							ICMS ST: 0,00 FRETE: 0,00			
TOTAL:								15.751,82		

ANEXO B - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS/ ARDUINO

	 Eletrogate Componentes Eletrônicos											
	Arduino Mega 2560 R3 / Rev3 + Cabo Usb + Garantia 1 x R\$ 89,90	89,90										
	Case para Arduino Mega 2560 em Acrílico Transparente 1 x R\$ 29,90	29,90										
	Jumpers - Protoboards - Macho/macho - 40 Unidades De 20 Cm 1 x R\$ 19,90	19,90										
	Módulo Acelerômetro de 3 Eixos - Mma7361 1 x R\$ 19,90	19,90										
	Jumpers - Protoboard - Femea/femea - 40 Unidades De 20 Cm 1 x R\$ 15,90	15,90										
		<table><tr><td>Produtos:</td><td>R\$ 175,50</td></tr><tr><td>Frete (E-SEDEX):</td><td>R\$ 9,92</td></tr><tr><td>Sub-total:</td><td>R\$ 185,42</td></tr><tr><td>Ajuste:</td><td>R\$ 0,00</td></tr><tr><td>Total do pedido:</td><td>R\$ 185,42</td></tr></table>	Produtos:	R\$ 175,50	Frete (E-SEDEX):	R\$ 9,92	Sub-total:	R\$ 185,42	Ajuste:	R\$ 0,00	Total do pedido:	R\$ 185,42
Produtos:	R\$ 175,50											
Frete (E-SEDEX):	R\$ 9,92											
Sub-total:	R\$ 185,42											
Ajuste:	R\$ 0,00											
Total do pedido:	R\$ 185,42											

28/7/2014

Conclusão - PagSeguro UOL


 (31) 9451-3800
 contato@eletrogate.com.br


Este pagamento foi processado pelo PagSeguro.

Detalhes da sua compra.
 Status:
 Aprovada

 Valor do pagamento:
 R\$ 185,42

 Telefone:
 (31) 9451-3800


 Código da transação:
 2AB2C7A6-70BC-4A81-99A5-140A95441256
 E-mail:
 contato@eletrogate.com.br
Resumo da compra

Descrição	Valor
Pagamento do pedido DA5FC	
Quantidade: 1	
Valor do item: R\$ 185,42	R\$ 185,42
Total a pagar	R\$ 185,42

ANEXO C – APRESENTAÇÃO DOS CUSTOS-PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS/ ACELERÔMETRO MMA7361/MATERIAIS AUXILIARES

7/29/2014 Bling - Notas fiscais


RECEBEMOS DE Eletrogate OS PRODUTOS CONSTANTES DA NOTA FISCAL INDICADA AO LADO		NF-e Nº 001069 Série 1
Data de recebimento	Identificação e assinatura do receptor	



Eletrogate
 Caixa Postal, 195 - Centro
 30.161-970 - Belo Horizonte - MG
 Fone 3194513800 - contato@eletrogate.com.br

DANFE
 Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica
 0-Entrada 1-Saída 1
Nº 001069
 SÉRIE: 1
 Página: 1 de 1

Controle do Fisco



Chave de acesso
 3114 0718 9175 2100 0173 5500 1000 0010 6912 2525 9885

Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e
www.nfe.fazenda.gov.br/portal
 ou no site da Sefaz autorizadora

Natureza da operação Venda de mercadorias		Número de protocolo de autorização de uso da NF-e 131141502179335	
Inscrição Estadual 0022270990072	Inscr.est. do subst.trib.	CNPJ 18.917.521/0001-73	

Destinatário/Remetente		CNPJ/CPF		Inscrição Estadual		Data emissão	
Nome / Razão Social Humberto Aparecido Brufatto Pereira		282.522.458-89				29/07/2014	
Endereço Alameda Gloria (Vi Dusi), 846		Bairro Vila Campestre		CEP 09.725-390		Data saída 29/07/2014	
Município São Bernardo do Campo		Fone/Fax		UF SP		Hora saída 08:46	

Faturas	Número	Vencimento	Valor	Número	Vencimento	Valor	Número	Vencimento	Valor

Cálculo do imposto		Base de cálculo do ICMS		Valor do ICMS		Base de cálculo do ICMS Subst.		Valor do ICMS Subst.		Valor total dos produtos	
		0,00		0,00		0,00		0,00		175,50	
Valor do frete		Valor do seguro		Desconto		Outras despesas acessórias		Valor do IPI		Valor total da nota	
9,92		0,00		0,00		0,00		0,00		185,42	

Transportador/Volumes transportados											
Nome Correios (ECT)		Frete por conta 0-Emitente 1-Destinatário 2-Terceiros 9-Sem Frete 1		Código ANTT		Placa do veículo		UF		CNPJ/CPF 34.028.316/0015-09	
Endereço		Município		UF		Inscrição Estadual					
Quantidade 0		Espécie		Marca		Numeração		Peso bruto 0,000		Peso líquido 0,000	

Itens da nota fiscal													
Código	Descrição do produto/serviço	NCM/SH	CST	CFOP	UN	Qtde	Preço un	Preço total	BC ICMS	Vir.ICMS	Vir.IPI	%ICMS	%IPI
0001	Arduino Mega 2560 R3 / Rev3 + Cabo Usb	85423190	1400	6.102	Pç	1,00	89,90	89,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0113	Case para Arduino Mega em Acrílico	42021210	1400	6.102	Pç	1,00	29,90	29,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0021	Jumpers - Macho/macho - 40 Und De 20 Cm	85369040	1400	6.102	Pç	1,00	19,90	19,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0028	Modulo Acelerometro de 3 Eixos - Mma7361	85415020	1400	6.102	Pç	1,00	19,90	19,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0017	Jumpers - Femea/femea - 40 Und de 20 Cm	85369040	1400	6.102	Pç	1,00	15,90	15,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cálculo do ISSQN			
Inscrição Municipal 0925651001X	Valor total dos serviços 0,00	Base de cálculo do ISSQN 0,00	Valor do ISSQN 0,00

Dados adicionais	
Observações Empresa optante pelo Simples Nacional. Não gera crédito de IPI.	Reservado ao fisco

Obtenha o arquivo digital em <http://bling.com.br/notas>



29/07/2014 09:05:16

1/1

ANEXO D – APRESENTAÇÃO DOS CUSTOS-LICENÇA LABVIEW

Usuário: 01.784.233/0001-95 - NF-e - Nota Fiscal Eletrônica de Serviços - São Paulo

Page 1 of 1


 PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO SECRETARIA MUNICIPAL DE FINANÇAS NOTA FISCAL DE SERVIÇOS ELETRÔNICA - NFS-e <small>RPS Nº 10553521 Série NFE, emitido em 05/08/2014</small> <small>20140805001784233000195</small>	Número da Nota 00005153
	Data e Hora de Emissão 05/08/2014 14:19:23
	Código de Verificação FAFN-NQXS
PRESTADOR DE SERVIÇOS  CPF/CNPJ: 01.784.233/0001-95 Inscrição Municipal: 2.573.313-3 Nome/Razão Social: NATIONAL INSTRUMENTS BRAZIL LTDA Endereço: AV PAULISTA 00509, 18 AND CONJ 1808 - BELA VISTA - CEP: 01311-000 Município: São Paulo UF: SP	
TOMADOR DE SERVIÇOS Nome/Razão Social: HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA CPF/CNPJ: 282.522.458-89 Inscrição Municipal: --- Endereço: - VILA CAMPESTRE - CEP: 09725-390 Município: São Bernardo do Campo UF: SP E-mail: humbertobrufatto@msn.com	
DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS LICENÇA UNICA DO SOFTWARE LABVIEW STUDENT EDITION PARA WINDOWS E SISTEMA OPERACIONAL MAC OS X. NAO DESTINADO PARA USO EM EMPRESAS OU INSTITUICOES. (ACOMPANHA KIT DE CD E MANUAIS, EDICAO 2013). Vencimentos das duplicatas: 24/08/2014; Seu Pedido: 27130871 / Nosso Pedido: NIBR3998/14VALOR APROXIMADO DOS TRIBUTOS: R\$ 22.38USUARIO FINAL: HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA - TELEFONE: 11 997049406CONTATO/ END USER: HUMBERTO APARECIDO BRUFATTO PEREIRA - TELEFONE: 11 997049405 EMAIL: HUMBERTOBRUFATTO@MSN.COM	
VALOR TOTAL DA NOTA = R\$ 198,98	
Código do Serviço 02798 - Licenciamento ou cessão de direito de uso de programas de computação, inclusive distribuição.	
Valor Total das Deduções (R\$) 0,00	Base de Cálculo (R\$) 198,98
Aliquota (%) 2,00%	Valor do ISS (R\$) 3,97
	Crédito (R\$) 1,19
OUTRAS INFORMAÇÕES - Esta NFS-e foi emitida com respaldo na Lei nº 14.097/2005. - O crédito gerado estará disponível somente após o recolhimento do ISS desta NFS-e. - Esta NFS-e substitui o RPS Nº 10553521 Série NFE, emitido em 05/08/2014. - Data de vencimento do ISS desta NFS-e: 10/09/2014	

<https://nfe.prefeitura.sp.gov.br/contribuinte/notaprint.aspx?inscricao=25733133&nf=5153...> 05/08/2014

ANEXO E – APRESENTAÇÃO DOS CUSTOS-LM35/ACS712 /MATERIAIS AUXILIARES

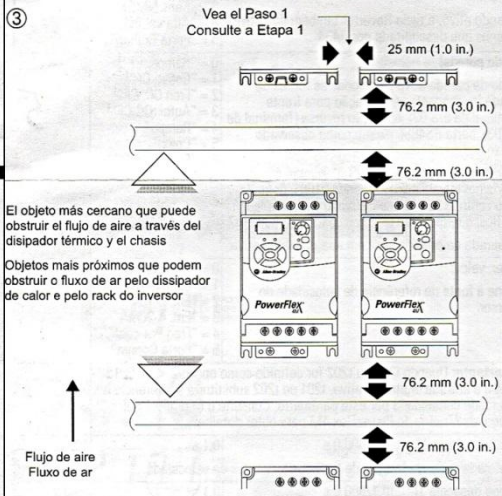
RECEBEMOS DE RoboCore Tecnologia e Empreendimentos Empresariais LTDA EPP OS PRODUTOS E/OU SERVIÇOS CONSTANTES DA NOTA FISCAL ELETRÔNICA INDICADA ABAIXO. EMISSÃO: 02/09/2014 VALOR TOTAL: R\$ 166,40 DESTINATÁRIO: Humberto Aparecido Brufatto Pereira - Alameda Gloria, 846 Vila Campestre Sao Bernardo do Campo-SP DATA DE RECEBIMENTO IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA DO RECEBEDOR		NF-e Nº. 000.020.824 Série 001											
ROBOCORE RoboCore Tecnologia e Empreendimentos Empresariais LTDA EPP Estrada das Lagrimas, 1682 - sala 9 Jardim Sao Caetano - 09580-500 Sao Caetano do Sul - SP Fone/Fax: (011) 4115-3267		DANFE Documento Auxiliar da Nota Fiscal Eletrônica 0 - ENTRADA 1 - SAÍDA Nº. 000.020.824 Série 001 Folha 1/1											
NATUREZA DA OPERAÇÃO Venda de mercadoria		CHAVE DE ACESSO 3514 0910 3834 0900 0198 5500 1000 0208 2412 7087 6396 Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no site da Sefaz Autorizadora											
INSCRIÇÃO ESTADUAL 636043309119		INSCRIÇÃO ESTADUAL DO SUBST. TRIBUT. 10.383.409/0001-98											
DESTINATÁRIO / REMETENTE NOME / RAZÃO SOCIAL Humberto Aparecido Brufatto Pereira ENDEREÇO Alameda Gloria, 846 MUNICÍPIO Sao Bernardo do Campo		CNPJ / CPF 282.522.458-89 DATA DA EMISSÃO 02/09/2014 CEP 09725-390 UF SP FONE / FAX ISENTO											
CÁLCULO DO IMPOSTO BASE DE CÁLCULO DO ICMS 0,00 VALOR DO ICMS 0,00 BASE DE CÁLC. ICMS S.T. 0,00 VALOR DO ICMS SUBST. 0,00 VALOR IMP. IMPORTAÇÃO 0,00 VALOR DO PIS 0,00 VALOR TOTAL DOS PRODUTOS 166,40		VALOR DO FRETE 0,00 VALOR DO SEGURO 0,00 DESCONTO 0,00 OUTRAS DESPESAS 0,00 VALOR TOTAL DO IPI 0,00 VALOR DA COFINS 0,00 VALOR TOTAL DA NOTA 166,40											
TRANSPORTADOR / VOLUMES TRANSPORTADOS NOME / RAZÃO SOCIAL (0) Emitente ENDEREÇO QUANTIDADE 0 ESPÉCIE MARCA 		FRETE POR CONTA (0) Emitente CÓDIGO ANTT PLACA DO VEÍCULO UF INSCRIÇÃO ESTADUAL PESO BRUTO PESO LÍQUIDO 											
DADOS DOS PRODUTOS / SERVIÇOS		RESERVADO AO FISCO											
CÓDIGO PRODUTO 148 155 249 286 378 464	DESCRIÇÃO DO PRODUTO / SERVIÇO Barra de 40 Pinos Macho 180 Sensor de Corrente por Efeito Hall ACS712 Estanho para Solda Best 25g Sensor de Temperatura LM35 Barra de 40 Pinos Macho 90 Borne 2 Vias Azul	NCM/SH 85369090 90309090 83119000 85423190 85369090 85369040	O/CST 0102 0102 0102 0102 0102 0102	CFOP 5102 5102 5102 5102 5102 5102	UN peca peca peca peca peca	QUANT 1,0000 4,0000 1,0000 3,0000 1,0000 10,0000	VALOR UNIT 0,7000 33,9000 9,0000 4,9000 0,9000 0,5500	VALOR TOTAL 0,70 135,60 9,00 14,70 0,90 5,50	B/CÁLC ICMS 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00	VALOR ICMS 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00	VALOR IPI 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00	ALIQ. ICMS 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00	ALIQ. IPI 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00
DADOS ADICIONAIS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES Inf. Contribuinte: Empresa cadastrada no SIMPLES nacional, TOTAL APROXIMADO DE TRIBUTOS FEDERAIS, ESTADUAIS E MUNICIPAIS, CONFORME LEI 12741/2012 ALIQUOTA 10,230 R 17,02 Valor Aproximado dos Tributos : R\$ 17,01		RESERVADO AO FISCO											

ANEXO F – MANUAL DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

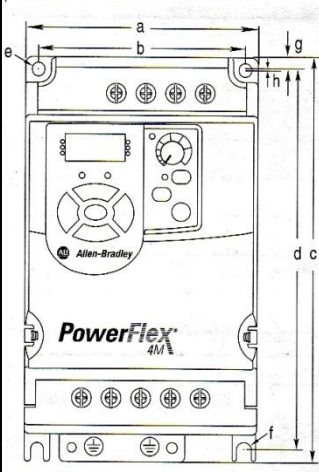
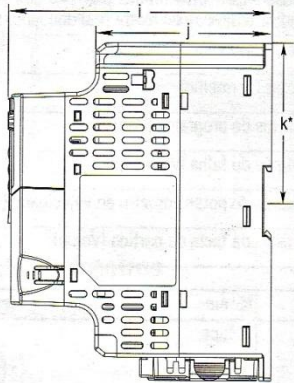


PowerFlex[®] 4M

Veja el Paso 1
Consulte a Etapa 1



Flujo de aire
Fluxo de ar

①

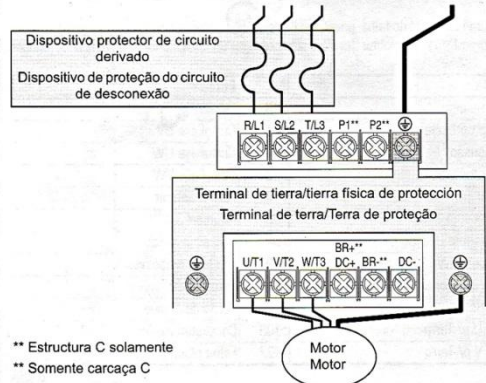
Estructura Carcaça	120 VCA monofásicos 120 Vca 1 fase	240 VCA monofásicos 240 Vca 1 fase	240 VCA trifásicos 240 Vca 3 fases	480 VCA trifásicos 480 Vca 3 fases
A	0.2 (0.25) 0.4 (0.5)	0.2 (0.25) 0.4 (0.5) 0.75 (1.0)	0.2 (0.25) 0.4 (0.5) 0.75 (1.0) 1.5 (2.0)	0.4 (0.5) 0.75 (1.0) 1.5 (2.0)
B	0.75 (1.0) 1.1 (1.5)	1.5 (2.0) 2.2 (3.0)	2.2 (3.0) 3.7 (5.0)	2.2 (3.0) 3.7 (5.0)
C	—	—	5.5 (7.5) 7.5 (10.0)	5.5 (7.5) 7.5 (10.0) 11.0 (15.0)

②

Estructura Carcaça	Dimensiones Dimensões				Peso de envío Peso de embarque
A	a	72.0 (2.83)	g	5.2 (0.20)	1.6 (3.5)
	b	59.0 (2.32)	h	—	
	c	174.0 (6.85)	i	136.0 (5.35)	
	d	151.6 (5.97)	j	90.9 (3.58)	
	e	Ø 5.4 (0.21)	k	81.3 (3.20)	
	f	Ø 5.4 (0.21)			
B	a	100 (3.94)	g	5.2 (0.20)	2.1 (4.6)
	b	89.0 (3.50)	h	0.5 (0.02)	
	c	174.0 (6.85)	i	136.0 (5.35)	
	d	163.5 (6.44)	j	90.9 (3.58)	
	e	Ø 5.4 (0.21)	k	81.3 (3.20)	
	f	Ø 5.4 (0.21)			
C	a	130.0 (5.12)	g	6.0 (0.24)	4.8 (10.6)
	b	116.0 (4.57)	h	1.0 (0.04)	
	c	260.0 (10.24)	i	180.0 (7.09)	
	d	247.5 (9.74)	j	128.7 (5.07)	
	e	Ø 5.5 (0.22)	k	—	
	f	Ø 5.5 (0.22)			

③

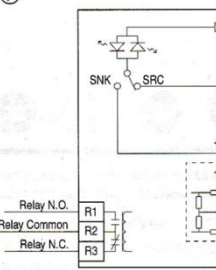
Desconexión de circuito derivado requerido
Circuito de desconexão requerido



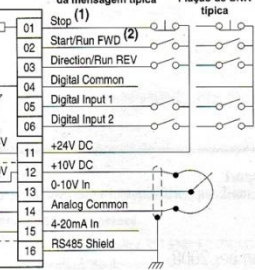
** Estructura C solamente
** Somente carcaça C

⑦

Cableado típico de
surridor (SRC)
Fiação de estação fonte
da mensagem típica



Cableado típico de
drenador (SNK)
Fiação de SNK
típica



ANEXO F – MANUAL DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA – CONTINUAÇÃO



FRN 2.xx Início Rápido

Português

Este guia de início rápido o orientará com relação a instalação básica, fiação e configurações básicas de parâmetros do Inversor PowerFlex 4M. Depois de concluir estas tarefas, você poderá iniciar o motor, verificar a direção de rotação e a velocidade de controle usando o teclado e o potenciômetro integrados. **As informações fornecidas não substituem o Manual do Usuário e se destinam somente a pessoas com experiência e qualificação para serviços com inversor.**

Este documento não fornece instruções para aterramento, blindagem, E/S de controle, descarga eletrostática e conformidade de CE. Consulte o Manual do Usuário do PowerFlex 4M, Publicação 22F-QS001A-MU-P... em www.rockwellautomation.com/literature.



Precauções gerais

ATENÇÃO: É necessário conhecer os perigos de choque, as práticas de segurança, os códigos elétricos e as máquinas associadas para planejar ou implementar a instalação, a inicialização e a manutenção deste inversor. A falha no cumprimento dessas regras pode resultar em ferimentos pessoais e/ou dano ao equipamento.

ATENÇÃO: O inversor contém capacitores de alta tensão que demoram para descarregar após a remoção da fonte de alimentação principal. Antes de trabalhar no inversor, não se esqueça de isolar a fonte de alimentação principal das entradas de linha [R, S, T (L1, L2, L3)]. Aguarde três minutos para que os capacitores descarreguem até atingir níveis de tensão seguros. Se isto não for observado, poderá ocorrer ferimentos pessoais ou morte. Tela de LEDs escurecidos não são indicação de que os capacitores descarregaram para níveis de tensão seguros.

ATENÇÃO: Poderão ocorrer danos no equipamento e/ou lesão pessoal se o parâmetro A451 [Tent ReinAut] ou A433 [Partida energ.] for utilizado em uma aplicação indevida. Não use essa função sem levar em consideração os códigos, padrões e regulamentos locais, nacionais e internacionais, ou as diretrizes da indústria.

Consulte as tabelas ① e ②. As taxas estão em kW e (HP). As dimensões estão em milímetros e (polegadas). Os pesos estão em quilogramas e (libras). Este documento contém notações decimais.

*A montagem de trilho DIN só é aplicável às carcaças A e B.

1. A instalação deve estar em conformidade com os espaços mínimos e a temperatura ambiente. Monte em uma superfície plana vertical com parafusos em um trilho DIN. Consulte a figura e a tabela a seguir

Espaço horizontal entre os inversores	Temperatura ambiente	
	Mínimo	Máximo
0 mm e maior	-10 °C (14 °F)	40 °C (104 °F)
25 mm e maior	-10 °C (14 °F)	50 °C (122 °F)

O gabinete do inversor é classificado como IP20, NEMA/UL do tipo aberto.

2. O MOV para o jumper de terra deve ser removido, se o inversor estiver instalado em um subsolo ou em um sistema de distribuição com aterramento resistivo. (Figura ④)

Importante: Aperte o parafuso depois da remoção do jumper.

3. Abra as proteções dos dedos para acessar o borne de alimentação. (Figura ⑤)


Importante: Conexão dos dispositivos remotos nos terminais de controle (Figura ⑦) requer informações do Manual do Usuário. As funções do terminal devem ser configuradas com parâmetros relacionados. Proceda para a Etapa 4, caso deseje iniciar o motor usando o teclado integrado.

4. Conecte os fios de alimentação. (Figura ⑥ e Tabela ⑧)
5. Conecte a carga do motor. Prepare-se para verificar a rotação correta do motor.
6. Verifique toda a fiação realizada na Etapa 4.
7. Feche a desconexão do circuito para aplicar alimentação.



Se um código de falha (Fxxx) for exibido, consulte a seção Códigos de Falha, na próxima página.

8. Ajuste o potenciômetro da velocidade de acordo com sua aplicação.

9. Pressione a partida  e verifique se a rotação do motor está correta. (Tabela ⑧)

10. Pressione Parar  . Desconecte a alimentação.

11. Consulte o *Manual do Usuário* para obter informações sobre o bloco de terminal de E/S de controle de fios e obter a funcionalidade desejada. Consulte a próxima página para programar os parâmetros de grupo do Programa Básico.

⑧

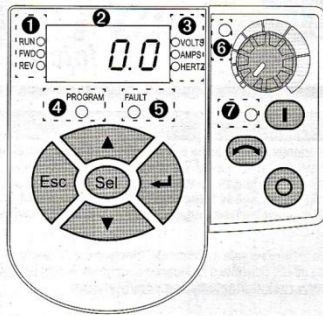
Terminal	Descrição
R/L1, S/L2	Entrada da 1 fase
R/L1, S/L2, T/L3	Entrada de 3 fases
P1, P2	Conexão do indutor de barramento CC ⁽¹⁾
U/T1	Para o Motor U/T1
V/T2	Para o Motor V/T2
W/T3	Para o Motor W/T3
DC+, DC-	Conexão do barramento de CC ⁽²⁾
BR+, BR-	Conexão do resistor de frenagem dinâmica ⁽¹⁾
⊕	PE de terra de segurança

(1) Somente para a carcaça C (capacidade de 5,5 kW (7,5 HP) e maiores)

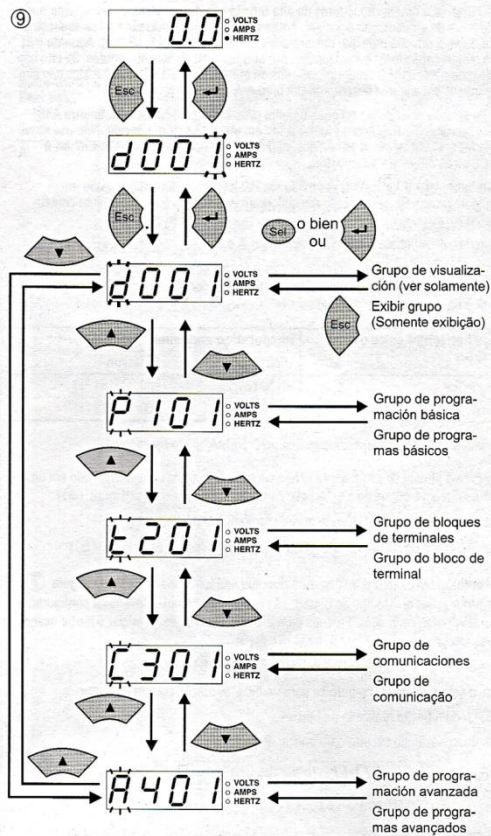
(2) Não aplicável a inversores de 120 V, 1 fase.

Rockwell
Automation

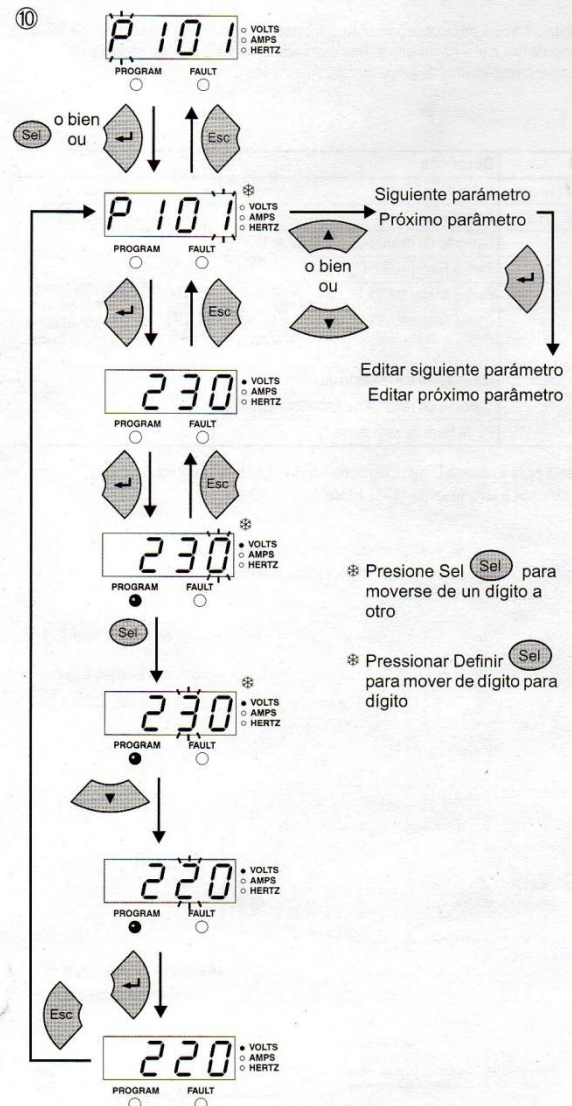
ANEXO F – MANUAL DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA – CONTINUAÇÃO



Para navegar por los grupos de parámetros
Para navegar em grupos de parâmetro



Para cambiar el valor de un parámetro (ejemplo)
Para mudar um valor de parâmetro (Exemplo)



UL US 508C
CSA 22.2
No. 14




EMC Directive 89/336/EEC, LV Dir. 73/23/EEC
LV: EN 50178
EMC: EN 61800-3

ANEXO F – MANUAL DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA – CONTINUAÇÃO

Quick Start (continued)		Português	
Teclado integrado			
Nº	LED		
1	Status Operação (Verde)		
2	Status de Falha (Verde)		
3	Status do programa (Verde)		
4	Status de Falha (Verde)		
5	Status do potencímetro de velocidade (Verde)		
6	Status da tecla de partida (Verde)		
Tecla	Nome	Tecla	Nome
	Escape		Potencímetro de velocidade
	Selecionar		Ligar
	Seta para cima		Reverter
	Seta para baixo		Parar
	Digital		
Parâmetros do grupo de programas básicos			
⊕ Parar o inversor antes de mudar o valor deste parâmetro.			
Nº	Parâmetro	Min/Max	Tela/Opções Padrão
P101	Velocidade Motor	0/255	1 Vca Baseado nas especificações do motor
P102	Freq. Motor	0/400 Hz	1 Hz Baseado nas especificações do motor
P103	Corrente SC Motor	0/0.1	0.1 A Baseado nas especificações do motor
P104	Freq. mínima	0/400.0 Hz	0.1 Hz
P105	Freq. máxima	0/400 Hz	1 Hz
P106	Freq. mínima	0/400 Hz	0.1 Hz
P107	Freq. máxima	0/400 Hz	1 Hz
P108	Fonte partida	0/5	0 = "Teclado" 1 = "2 fios" 2 = "3 fios" 3 = "Sens Nav 2P" 4 = "Sens Nav 2P" 5 = "Porta Comum"
P109	Modo parada	0/7	0 = "Parada, CP" 1 = "Parada, CP" 2 = "Parada, CP" 3 = "Parada, CP" 4 = "Parada, CP" 5 = "Parada, CP" 6 = "Parada, CP" 7 = "Parada, CP"
P110	Refer. velocidade	0/5	0 = "Pot Inversor" 1 = "Frequência" 2 = "Fim 0-10V" 3 = "Ext. 4-20mA" 4 = "Fim 0-10V" 5 = "Porta Comum"
P111	Tempo aceleração	0/1000.0 s	10.0 s
P112	Tempo desaceleração	0/1000.0 s	10.0 s
P113	Ret. sobretemp	0/1	0 = "Desativado" 1 = "Ativado"
P114	Habilita/desabilita a função Retenção de sobrecarga do motor	0/1	0 = "Estado Inativo" 1 = "Restaurar default"
P115	Restaurar padrão	0/1	0 = "Estado Inativo" 1 = "Restaurar default"
Posicione todos os valores de parâmetro aos pontos de fábrica.			

Códigos de falha

F É o indicador de falha.

Para remover uma condição de falha, pressione Parar , desligue e ligue a alimentação ou defina A450 como 1 ou 2. Para obter detalhes sobre códigos de falha, consulte o *Manual do Usuário*.

Nº	Falha	Nº	Falha
F2	Ent. Auxiliar ⁽¹⁾	F40	Fase W p/ Terra
F3	Perda potência	F41	CurtoFase UV
F4	Subtensão ⁽¹⁾	F42	CurtoFase UW
F5	Sobretensão ⁽¹⁾	F43	CurtoFase VW
F6	Motor Travado ⁽¹⁾	F48	Parâm default
F7	Sobrecarga Moto ⁽¹⁾	F63	Sobrcorr SW ⁽¹⁾
F8	Sobretemp Dissip ⁽¹⁾	F64	Sobrec Inversor
F12	Sobrcorr HW	F70	Unidade potência
F13	Falha de aterramento	F71	Perda Rede
F33	Tent ReinAut	F81	Perda de comun.
F38	Fase U p/ Terra	F100	Checksum parâm
F39	Fase V p/ Terra	F122	Falha placa E/S

⁽¹⁾ Redefinição automática/Execução do tipo de falha. Configurar com parâmetros A451 e A452.

