UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA
PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA MECÂNICA

SISTEMA DIGITAL DE INSTRUMENTAÇÃO SEM FIO DE UMA MOLA HELICOIDAL TI-NI USANDO TECNOLOGIA ZIGBEE, USB E LINUX

AUTOR: JADEILSON DE SANTANA BEZERRA RAMOS

Profº Dr. Severino Leopoldino Urtiga Filho (orientador) – PPGEM/UFPE
Profº Dr. Cezar Henrique Gonzalez (co-orientador) - PPGEM/UFPE

Recife-PE
Novembro 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA
PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA MECÂNICA

SISTEMA DIGITAL DE INSTRUMENTAÇÃO SEM FIO DE UMA MOLA HELICOIDAL TI-NI USANDO TECNOLOGIA ZIGBEE, USB E LINUX

AUTOR: JADEILSON DE SANTANA BEZERRA RAMOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

Recife-PE
Novembro 2010

"SISTEMA DIGITAL DE INSTRUMENTAÇÃO SEM FIO DE UMA MOLA TI-NI USANDO TECNOLOGIA ZIGBEE, USB E LINUX".

JADEILSON SANTANA BEZERRA RAMOS

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MATERIAIS E FABRICAÇÃO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA/CTG/EEP/UFPE

Prof. Dr. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO
ORIENTADOR/PRESIDENTE

Prof. Dr. CEZAR HENRIQUE GONZÁLEZ
CO-ORIENTADOR

Prof. Dr. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. SEVERINO LEOPOLDINO URTIGA FILHO (UFPE)

Prof. Dr. CEZAR HENRIQUE GONZÁLEZ (UFPE)

Prof. Dr. JORGE RECARTE HENRÍQUEZ GUERRERO (UFPE)

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BRAYNER DE OLIVEIRA LIRA (UFPE - DEN)

Catalogação na fonte
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

R175s Ramos, Jadeilson de Santana Bezerra.
Sistema digital de instrumentação sem fio de uma mola Helicoidal TI-NI usando tecnologia *zigbee, usb e linux* / Jadeilson de Santana Bezerra Ramos. - Recife: O Autor, 2010.
xv, 114 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Profª. Severino Leopoldino Urtiga Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2010.
Inclui Referências e Anexo.

1. Engenharia Mecânica. 2. Sistema Digital. 3.*Bluetooth*. 4.Distensão Mecânica. 5.Dispositivo *Zigbee*. I. Urtiga Filho, Severino Leopoldino (orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.) BCTG/2011-071

A realidade é uma convenção criada sob nossa ótica de crer no que é real
(BEZERRA,Jadeilson)
M:.I:.C:.T:.M:.R:.

Dedico este trabalho ao meu falecido pai José Antônio Bezerra que me ensinou que os valores morais são responsabilidade eterna dos homens de caráter. A minha esposa Raquel que me incentivou nos momentos em que mais precisei.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** que sempre se mostrou presente nos momentos em que eu precisava de respostas. Sendo meu guia, meu inspirador, fiel amigo e luz onde todos só enxergavam escuridão.

Ao meu falecido pai – **José Antônio Bezerra** – o qual sempre me ensinou no princípio de minha formação de carácter que o caminho certo a ser trilhado pelos desafortunados de riquezas materiais era trilhar nas veredas do conhecimento intelectual. E assim o obedeci.

A minha esposa – **Maria Raquel Firmino Ramos Santana** – a qual teve a paciência em me acalmar quando não enxergava mais esperança, a não desistir dos meus planos quando tudo parecia estar no fim, a qual me deu alento e carinho quando me sentia pequeno e sozinho. Ela sempre foi testemunha de meus sucessos e fracassos. E neste momento é testemunha de mais um sucesso.

A minha mãe – **Maria José de Santana** – que me ensinou a perseverar nos momentos de turbulência, a prevalecer nas ocasiões de desânimo, a insistir quando tudo parecia perecer, a levantar a cabeça quando a situação era para desfalecer e a seguir quando tudo se mostrava que era para parar. Tive o privilégio de repetir seus passos.

A toda minha família que pelo suporte emocional e apoio moral nos momentos em que precisei.

Ao meu orientador – **Profº Dr. Severino Leopoldino Urtiga Filho** – o qual acreditou no meu intelectual investindo naquilo em que eu precisava. Mostrou-se paciente nos momentos de minha impaciência. Ofereceu-me um dos bens mais precioso para um aluno: o conhecimento. Contribuindo com seu grande investimento para minha formação acadêmica.

Ao meu co-orientador – **Profº Dr. Cezar Henrique Gonzalez** – que contribuiu fortemente para que este trabalho tivesse continuidade.

Ao meu amigo – Profº Dr. Elson Miranda Silva – que contribuiu com seu trabalho de doutorado não só para sociedade mas para minha dissertação de mestrado. Ofereceu-me seus conhecimentos enriquecendo, assim, minha cultura.

A minha amiga – **Magda Rosângela Santos Vieira** – que me mostrou a forma da escrita cientifica, facilitando, com isso, a comunicação entre a comunidade acadêmica.

A equipe do **COMPLAB** que se mostrou prestativa em todos os momentos.

Ao **CnPQ** que vem contribuindo de forma grandiosa para o desenvolvimento cientifico deste país.

RESUMO

O padrão zigbee foi utilizado na instrumentação de molas helicoidais de Ti-Ni utilizando, assim, a porta USB para comunicação de dados sem fio com o laptop e a mola utilizando a plataforma operacional Linux.

Um estudo do comportamento da tensão elétrica da mola Ti-Ni sob a variação da corrente elétrica e distensão mecânica foi feito. Foi observado que para condições normais de temperatura e ambiente, o sistema apresentou variação linear na faixa analisada. E que uma análise estatística para uma faixa de operação de corrente e comprimentos constantes, a mola apresentou condições suficientes para a instrumentação.

Foram desenvolvidos programas para que as tecnologias zigbee, microcontrolador, PIC16F877A e USB pudessem se comunicar entre si. A implementação do algoritmo sugerido mostrou-se, ao longo dos testes, um desempenho positivo.

Uma análise do erro que o sistema de instrumentação sem fio poderia introduzir no monitoramento foi feita. Com isso, constatou-se que o erro absoluto do mesmo não apresentou nenhuma influência no monitoramento da distensão mecânica da mola.

Os resultados mostraram-se favoráveis ao objetivo da dissertação e foi verificado que o monitoramento sem fio de distensão mecânica da mola Ti-Ni apresentou confiabilidade considerável

Palavras-chaves: bluetooth, coordenador, distensão mecânica, dispositivo zigbee, IEEE 802.15.4, Instrumentação, Linux, martensita, microcontrolador.

ABSTRACT

The ZigBee standard was used in the instrumentation of coil springs using Ti-Ni, so the USB port for wireless data communication with the laptop and the spring using the Linux operating platform.

A study of the behavior of voltage-Ni Ti spring under variation of electric current and mechanical distension was done. It was observed that for normal conditions of temperature and environment, the system showed a linear variation in the range analyzed. And what a statistical analysis to an operating range of current and constant length, the spring presented sufficient conditions for instrumentation.

Programs were developed so that the technologies zigbee, microcontroller PIC16F877A USB and could communicate with each other. The implementation of the suggested algorithm has proved over the tests, a positive performance.

An analysis of error that the wireless system could be introduced without instrumentation for monitoring was done. Thus, it was found that the absolute error of the same showed no influence on the monitoring of mechanical distention of the spring.

The results were favorable to the purpose of this work and it was verified that the wireless monitoring of mechanical distention of the spring Ti-Ni showed considerable reliability.

Keywords: bluetooth, engineer, mechanical distention, zigbee device, IEEE 802.15.4, Instrumentation, Linux, martensite, microcontroller.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....1
1.1 COMUNICAÇÃO SEM FIO.....1
1.2 OBJETIVO.....2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....3

2 REVISÃO DA LITERATURA.....4
2.1 REDES DE COMUNICAÇÃO ELETRÔNICA NO SETOR INDUSTRIAL.....4
2.2 AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS USANDO COMUNICAÇÃO SEM FIO.....6
2.2.1 Zigbee Alliance.....6
2.3 PADRÃO ZIGBEE.....7
2.3.1 Classes de rede de comunicação sem fio de baixo alcance.....8
2.3.2 Funcionalidades dos dispositivos definidos pelo sistema Zigbee.....11
2.3.2.1 Tipos de dispositivos Zigbee.....11
2.3.2.2 Papeis dos dispositivos Zigbee.....11
2.3.2.3 Modo de operação dos dispositivos Zigbee.....12
2.3.2.3.1 Modo de inativo.....13
2.3.2.3.2 Modo de recepção.....13
2.3.2.3.3 Modo de comando.....13
2.3.2.3.4 Modo sono.....14
2.3.2.3.5 Modo de transmissão.....14
2.3.2.3.6 Modo ativo.....15
2.3.3 Camadas de rede do sistema Zigbee.....16
2.3.3.1 Camada de Rede.....17
2.3.3.2 Camada de Aplicação.....18
2.3.4 Topologia da rede do sistema Zigbee.....19
2.3.5 Comportamento da rede definido pelo padrão Zigbee.....22
2.3.5.1 Formação de uma rede Zigbee.....23
2.3.5.2 Juntando-se a uma PAN.....24
2.3.5.3 Permitindo a entrada de dispositivos.....24
2.3.5.4 Segurança.....25
2.3.6 Consumo de Energia 25
2.3.6.1 Característica do descarregamento de baterias 25
2.3.6.2 Um método de cálculo simples para vida útil de uma bateria.....26
2.3.7 Zigbee Coexistência.....27
2.3.8 Licenciamento da utilização da frequência de comunicação perante órgãos regulamentadores.....28
2.4 COMUNICAÇÃO USB.....29
2.4.1 USB host.....29
2.4.2 USB device.....29
2.4.2.1 Funções.....30
2.4.2.2 Hub.....30
2.4.3 Arquitetura USB.....31

2.4.3.1 Descrição do sistema USB....31
2.4.3.1.1 Topologia do barramento....32
2.4.4 Protocolo USB....33
2.5 LINUX....35
2.5.1 Sistema operacional Linux....36
2.5.2 Distribuição....36
2.5.3 Software de interface gráfica GLADE....36
2.6 LIGAS MEMÓRIA DE FORMA – LMF....38
2.6.1 Transformação da martensítica....39
2.6.2 Temperaturas críticas de transformação....39
2.6.3 Comportamento super-elástico....40
2.6.4 Mola helicoidal de Ti-Ni....41
2.7 MICROCONTROLADORES....42
2.8 CONSIDERAÇÕES DA REVISÃO LITERÁRIA....44
3 METODOLOGIA....45
3.1 VISÃO GERAL DO TRABALHO....45
3.2 SENSOR DE DISTENSÃO MECÂNICA SEM FIO....49
3.2.1 Mola Helicoidal de Ti-Ni....49
3.2.1.1 Comportamento da tensão elétrica com a variação do comprimento L da mola Ti-Ni....49
3.2.1.2 Comportamento da tensão elétrica com a variação da corrente elétrica....51
3.2.1.3 Comportamento estatístico da tensão elétrica....52
3.2.2 Circuito de Aquisição de Dados....53
3.2.2.1 Entendendo o hardware....53
3.2.2.1.1 Visão geral do circuito de aquisição de dados....53
3.2.2.1.2 Esquema elétrico....54
3.2.2.1.3 Transdutor....55
3.2.2.1.4 Condicionador de sinal....56
3.2.2.1.5 Conversão analógica/digital e Processamento/armazenamento dos dados....57
3.2.2.1.6 Mostrador....58
3.2.2.1.7 Atuador....58
3.2.2.1.8 Fonte de corrente....59
3.2.2.2 Entendendo o software....59
3.2.3 Transmissor Sem Fio de Dados....62
3.3 SISTEMA DE COORDENAÇÃO E MONITORAMENTO SEM FIO....64
3.3.1 Bloco Sistema Operacional Linux....64
3.3.1.1 Algoritmo de programação em Linguagem C....65
3.3.2 Circuito de Recepção de Dados....68
3.3.3 Receptor Sem Fio de Dados....69
3.4 CONSIDERAÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO....70
3.4.1 Procedimento de medição....70
3.4.2 Identificação da variável....71
3.4.3 Princípio físico de medição....71
3.4.4 Identificação dos erros sistemáticos....71

3.4.4.1 Efeito de carga....71
3.4.4.1.1 Cálculo de RPIC , resistência de entrada do PIC16F877A....73
3.4.4.2 Intrínseco do Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio....75
3.4.4.2.1 Erro de quantização do código....75
3.4.4.2.2 Erro de Offset do código....77
3.4.4.2.3 Erro de ganho do código....77
3.4.4.2.4 Erro absoluto....78
3.4.4.3 Erro por variação de VREF 78
3.5 CONSIDERAÇÕES DA METODOLOGIA....79

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES....80
4.1 MOLA HELICOIDAL DE TI-NI....80
4.1.1 Comportamento da Tensão elétrica com a variação do comprimento L da mola Ti-Ni....80
4.1.2 Comportamento da tensão elétrica da corrente....81
4.1.3 Comportamento estatísticos da tensão elétrica....82
4.1.4 Circuito de Aquisição de Dados....83
4.1.4.1 Parte Hardware....83
4.1.4.1.1 Procedimento de instrumentação....83
4.1.4.2 Parte Software....86
4.1.5 Transmissor Sem Fio de Dados 87
4.1.6 Bloco Sistema Operacional Linux....88

5 CONCLUSÕES....90

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS....91

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ilustração do padrão Zigbee.....7
Figura 2.2: Classe de rede sem fio de baixo alcance.....9
Figura 2.3: Comparação dos padrões: Zigbee, Blutooth e IEEE 802.11b [11].....10
Figura 2.4: Papeis dos dispositivos Zigbee na rede.....12
Figura 2.5: Modo de transmissão.....15
Figura 2.6: Camadas de protocolo de rede do sistema Zigbee.....16
Figura 2.7: Aplicação customizada pelo usuário.....17
Figura 2.8: Camada de aplicação Zigbee [16].....19
Figura 2.9: Topologia estrela.....20
Figura 2.10: Topologia em malha.....21
Figura 2.11: Topologia em árvore.....22
Figura 2.12: Verificação de canal apto para comunicação. Os canais disponíveis são: 3, 14 e 16.....23
Figura 2.13: Vida útil da bateria em função do tempo de modo sono [11].....27
Figura 2.14: Típico HUB [30].....30
Figura 2.15: Topologia do barramento.....32
Figura 2.16: Pacote que inicia a comunicação "token package" [31].....33
Figura 2.17: Software Glade em uso com as seguintes janelas: Glade, Propriedades e Palheta.....37
Figura 2.18: Comportamento memória de forma.....38
Figura 2.19: Curva típica da transformação de fase de uma LMF [40].....40
Figura 2.20: Comportamento super-elástico da LMF.....41
Figura 2.21: Modelo de aquisição analógica digital do PIC16F877A.....43
Figura 3.1: Sistema Digital de Monitoramento Sem Fio.....45
Figura 3.2: Princípio físico de geração de tensão elétrica.....46
Figura 3.3: Ilustração do sistema de monitoramento sem fio.....46
Figura 3.4: Visão geral do projeto proposto.....47
Figura 3.5: Sistema garra mecânica e mola de mola Ti-Ni.....50
Figura 3.6: Técnica de medição quatro pontos.....51

Figura 3.7: Visão geral do circuito de aquisição de dados.....54
Figura 3.8: Esquema elétrico do Circuito de Aquisição de Dados.....54
Figura 3.9: Amplificadores operacionais e amplificadores de instrumentação.....57
Figura 3.10: Rotina principal do software 60
Figura 3.11: Rotina ADQUIRIR_DADO_INICIAL.....61
Figura 3.12: Rotina ADQUIRIR_DADO.....62
Figura 3.13: Visão geral do projeto proposto.....64
Figura 3.14: Ilustração do funcionamento do bloco sistema operacional Linux.....65
Figura 3.15: Algoritmo do Bloco Sistema Operacional Linux.....67
Figura 3.16: Projeto da Rogercom CON-USBEE.....68
Figura 3.17: Receptor Sem Fio de Dados.....69
Figura 3.18: Técnica de medição de quatro pontos com PIC16F877A.....70
Figura 3.19: Circuito elétrico sem o efeito do PIC16F877A.....72
Figura 3.20: Cálculo considerando efeito de carga.....73
Figura 3.21: Modelo da entrada analógica do PIC16F877A.....74
Figura 3.22: Função de transferência - Erro de quantização do código.....76
Figura 3.23: Função de transferência - erro de offset do código.....77
Figura 3.24: Função de transferência - erro de ganho do código.....78
Figura 3.25: Função de transferência - erro por variação de VREF.....79
Figura 4.1: Comportamento da tensão elétrica com a distensão mecânica da mola Ti-Ni 80
Figura 4.2: Comportamento Tensão elétrica com a variação da corrente.....81
Figura 4.3: Comportamento da tensão com a corrente e o comprimento constantes… 83
Figura 4.4: Método 1 de monitoramento 84
Figura 4.5: Segunda proposta de procedimento de medição.....85
Figura 4.6: Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio em ambiente de interferência eletromagnética.....87
Figura 4.7: Ilustração do funcionamento do bloco sistema operacional Linux.....88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos padrões Zigbee, Bluetooth e IEEE 802.11b.....10

Tabela 2: Caso simplificado da consumo de energia da bateria por dispositivo zigbee 26

Tabela 3: Dados tensão elétrica em função da distância.....50

Tabela 4: Dados tensão elétrica em função da corrente.....52

Tabela 5: Primeiro resultado da tensão elétrica do resistor.....84

Tabela 6: Segundo resultado da tensão elétrica do resistor.....85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RADAR	Radio detection and ranging
IEEE	Institute Electric Electronic Engineer
WLAN	Wireless local area network
WPAN	Wireless personal area network
HR-WPAN	High rage wireless local area network
MR-WPAN	Medium rage wireless local area network
LR-WPAN	Low rage wireless local area network
FFD	Full feature device
RFD	Reduce feature device
RAM	Random Access Memory
USB	Universal Serial Bus
APS	Application Support
ZDO	Zigbee Device Object
CSMA / CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance

1 INTRODUÇÃO

1.1 COMUNICAÇÃO SEM FIO

A intensa e contínua necessidade de interação entre indivíduos é um dos principais propulsores para a ocorrência do processo de comunicação. A definição mais genérica de comunicação pode ser exposta da seguinte forma: *é a capacidade de trocar ou discutir ideias, de dialogar, com vista ao bom entendimento entre pessoas [1].*

É de fato notório que a finalidade da comunicação é visar o bom entendimento da informação passada pelo diálogo entre duas ou mais pessoas. Com a ideia da definição de comunicação em mente, tornar-se possível a criação de uma ponte introdutória, de forma simples, para a área da eletrônica. A comunicação eletrônica é o meio pelo qual a informação, contida em um circuito emissor, pode ser passada por um determinado meio físico de modo eficiente, podendo assim, um ou mais circuitos receptores de forma concisa entender o que foi transmitido.

A tecnologia de comunicação eletrônica sem fio consiste basicamente em proporcionar a comunicação entre dois ou mais dispositivos eletrônicos usando o espaço como meio físico. Essa tecnologia é fundamentada no princípio de que se variando o campo elétrico de um circuito emissor, ocorrerá a radiação de ondas eletromagnéticas no espaço, podendo este sinal ser detectado por outro dispositivo eletrônico [2]. Essas ondas radiadas no espaço são entidades de grande importância na comunicação, pois as mesmas são responsáveis por carregar as informações contidas no circuito emissor. Quando circuitos receptores conseguem captar e entender a informação radiada no espaço, então a comunicação sem fio foi estabelecida [2].

Técnicas de comunicação sem fio passou a ser estudado com o intuito de se obter aplicações comerciais, como podermos exemplificar o uso da tecnologia na

aplicação do sistema de telefonia celular [2]. A telefonia celular abriu o caminho para a consolidação da comunicação sem fio no mundo, pois com o sistema celular surgiu um novo conceito que até então não existia: a mobilidade entre dispositivos eletrônicos sem perdas de comunicação [2]. A primeira geração de telefonia celular transmitia a voz, como informação, para o espaço. Porém com a necessidade da transmissão de dados, surgiu a inevitável transição do sistema de comunicação celular com o intuito de adequá-lo a aplicações de monitoramento e controle de sistemas eletromecânicos no setor industrial. Surgi a partir daí a instrumentação industrial sem fio [2].

A instrumentação industrial sem fio surge com a finalidade de se utilizar da comunicação eletrônica sem fio para o monitoramento de sensores localizados em pontos de difícil acesso, como oleodutos localizados em alto mares, bem como no controle de sistemas electromecânicos no chão de fábrica [3] [4]. A grande vantagem disso está na eliminação dos cabos utilizados como meio físico para comunicação. Os cabos de comunicação são onerosos, pois necessitam ser substituídos em tempos regulares, além do mais, os mesmos estão sujeitos a serem danificados por roedores, intempéries, entre outros fatores, podendo causar transtornos e perdas de tempos na localização dos pontos destruídos, levando a possíveis pausas no processo de fabricação, ou seja, perda de investimento.

1.2 OBJETIVO

Será desenvolver um sistema eletrônico digital que monitorará a variação distensão mecânica de uma mola helicoidal de Ti-Ni , utilizando-se do padrão de comunicação sem fio Zigbee. A mola helicoidal Ti-Ni funcionará como um transdutor que fará a transformação linear da medição da variação da resistividade elétrica através da variação de tensão elétrica na mola. para um sinal elétrico. Esses sinais elétricos serão enviados de forma digital, através de ondas eletromagnéticas, usando módulos zigbee, para um computador pessoal que conterá um circuito que receberá a informação contida das ondas radiadas e enviará os dados via USB

(*Universal Serial Bus*) para ser tratados por um programa criado em plataforma Linux. Mediante a isso deverão ser criados softwares que façam a integração de comunicação entre as diferentes tecnologias.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Capítulo 1 será apresentado uma introdução sobre a comunicação sem fio junto com sua evolução. Seguindo com a importância da pesquisa e o objetivo principal desta dissertação.

Capítulo 2 é feito uma revisão da literatura dos assuntos tratados para a compreensão da dissertação apresentada. É revisado os principais conceitos das tecnologias usadas neste trabalho. Sendo elas: Zigbee, USB, PIC16F877, Linux.

Capítulo 3 é exposto, aqui, a visão geral da implementação e metodologia usada na construção do Sistema de Instrumentação Sem Fio. Sendo, portanto, apresentado os subsistemas formadores do objeto fim, necessários não só ao entendimento mas para o funcionamento do mesmo.

Capítulo 4 é discutidos os resultados obtidos da metodologia implementada no capítulo anterior.

Capítulo 5 é mostradas as conclusões tiradas dos métodos e tecnologia testadas.

Capítulo 6 são feitas considerações de melhoria para futuras implementações.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 REDES DE COMUNICAÇÃO ELETRÔNICA NO SETOR INDUSTRIAL

No setor industrial a constante necessidade de informação em tempo real de todos os processos da fabricação vem levando pesquisadores do ramo a estudar sistema de comunicação eletrônica mais eficiente que consigam aliar a segurança do tráfego dos dados com a flexibilidade do acesso aos mesmos.

A primeira ideia citada de segurança de dados consiste em afirmar que a informação que trafega num meio físico sujeito a ruídos chegue sem alterações ao destino desejado. A segunda ideia de segurança vem da exigência da autenticação de dispositivos eletrônicos receptores para o acesso da informação que trafega no meio físico, evitando o acesso indevido de pessoas não autorizada das informações que trafegam na rede [2].

A flexibilidade está intrinsecamente ligado à infraestrutura que esse sistema de comunicação eletrônica requer para ser montado. Um sistema de comunicação eletrônica flexível requer baixa infraestrutura e oferece a liberdade de alteração da estrutura montada sem prejuízo na comunicação e exigindo baixo custo [2].

O processo de rede de comunicação eletrônica na automação convergem para três técnicas [5], comunicação em linhas de potência, comunicação por cabos e comunicação por rádio frequência [3].

A comunicação em linha de potência consiste em usar a rede elétrica como meio físico para transmissão/recepção da informação [6]. A informação (dados digitais) trafega na linha de potência junto com o sinal de potência, porém em diferentes frequências. Os dados (ou comandos) poderão ser extraídos da rede elétrica através de circuitos elétricos receptores que são projetados para filtrar os dados do sinal de potência. Esses circuitos irão retirar os dados, interpretá-los e enviá-los para os atuadores [6].

A técnica de comunicação em linhas de potência está em contínuo desenvolvimento. Vários são os problemas que precisam ser contornados como: distorções dos sinais causadas por conexões comprometendo a segurança dos dados, o alto consumo de energia dos circuitos transmissores/receptores; entre outros.

A comunicação por cabos é bastante utilizado para tráfego de informação no meio industrial e tem sido a técnica mais comum [6]. Geralmente são utilizados cabos dedicados que servem como meio físico para o tráfego da informação. Como exemplo do cabo par trançado, fibra óptica e outros.

O cabo par trançados oferece uma maior imunidade a ruídos, portanto maior segurança dos dados. Porem uma vez montada o sua estrutura, a restruturação do sistema é inviável, portanto baixa flexibilidade [2].

A fibra óptica oferece uma alta taxa de transmissão de dados, no entanto possuem efeitos físicos diversos que podem comprometer a segurança da informação, como por exemplo a distorção do sinal enviado por efeito de múltiplo caminhos [7]. A alta infraestrutura exigida para implementação deste sistema de comunicação e a baixa flexibilidade, são motivos para torná esta técnica pouco atraente no setor industrial [2].

A técnica de comunicação sem fio tem caminhado para um rumo promissor e está em grande ascensão no mercado. A indústria vem se mostrado bastante interessada na implementação de comunicação sem fio em seus processos de fabricação [8] [9]. Isso devido ao fato do grande sucesso provocado pela evolução do sistema de telefonia celular [2]. Pois o seu atrativo é que seus serviços podem ser oferecidos em lugares que não possui ambientes naturais favoráveis à implementação de cabeamento, como lugares pouco urbanizado, montanhas, plataformas marítimas e outros, não requerendo alto custo na implementação da estrutura.

2.2 AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS USANDO COMUNICAÇÃO SEM FIO

A ideia de de se obter informação e controle de tarefas utilizando comunicação sem fio em residências e fábricas não é um conceito novo. Existem várias técnicas padrões destinadas a pequenos raios de distância física no segmento de rede de comunicação sem fio, como podemos exemplificar o IEEE 802.11 Wireless Local Area Network (WLAN) [10] e o Bluetooth [11].

Neste cenário de desenvolvimento da automação sem fio surge a Alliance Zigbee para solucionar o quesito de uma baixa transmissão de dados, baixo raio de cobertura e com um baixíssimo consumo de energia. Sua ambição é padronizar os sistemas de comunicação usando o seu protocolo de comunicação [12].

2.2.1 Zigbee Alliance

Em de 2002 grandes empresas [12] do setor de eletrônicos e áreas afins decidiram padronizar um sistema de comunicação eletrônica sem fio para o setor de automação. Elas juntaram forças com a finalidade promissora de tornar esse sistema compatível independentemente da empresa que produzisse o circuito. Essa junção de forças ocasionou uma formação de uma sociedade conhecida como a Alliance Zigbee [12].

A Alliance Zigbee é responsável pela criação e manutenção de um padrão de rede comunicação sem fio chamada Padrão Zigbee [12]. Esse padrão Zigbee é considerado aberto, ou seja, livre para aquisição. Toda a documentação e especificações estão disponível para o público, no entanto, para usar a marca Zigbee, o interessado deverá ser sócio da Zigbee Alliance e pagar anualmente uma quantia de $3500, somando se a isso todos os dispositivos projetados deverão passar por testes de homologação para poder ser comercializados no mercado [13].

2.3 PADRÃO ZIGBEE

Podemos definir como sendo uma convenção de comunicação de rede sem 2 REVISÃO DA LITERATURA fio a qual se utiliza de uma pilha de protocolo particular, que através dessa sejam capazes de manter uma comunicação com outros dispositivos do mesmo padrão (ver Fig. 2.1). Geralmente um microcontrolador, detentor em sua memória do protocolo padrão Zigbee, deve se comunicar com outros microcontroladores, pertencente a uma rede comum, usando um transmissor de rádio, para que os pacotes sejam enviados sem fio numa faixa de frequência especificada pelo padrão [14].

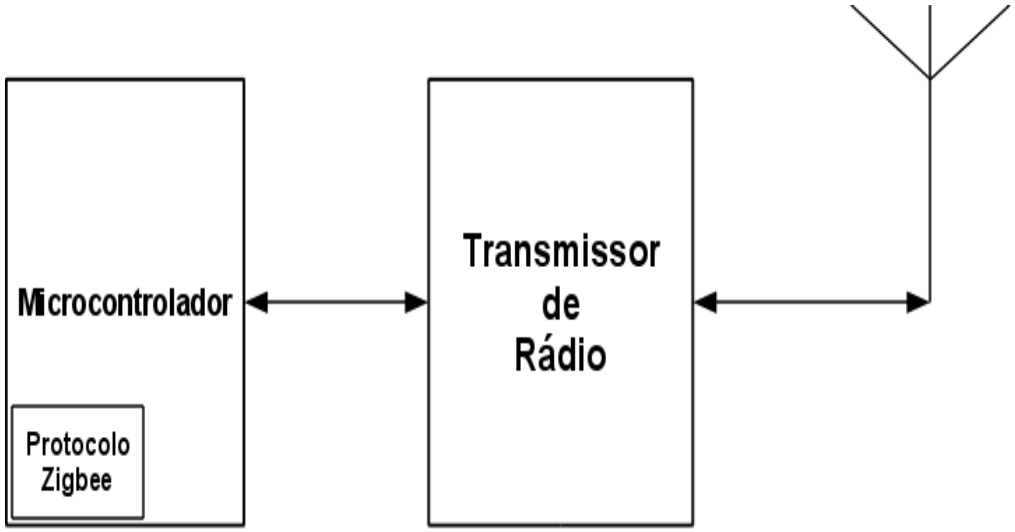


Figura 2.1: Ilustração do padrão Zigbee

O Padrão Zigbee pode assumir diversas tipologias de rede, a ser vista aqui no subcapítulo 2.3.4 , tendo a capacidade de grande economia no consumo de energia quando utilizada em modo sono (ver subcapítulo 2.3.2.3.4). Enquanto o dispositivo Bluetooth consome uma bateria em torno de uma semana, o dispositivo Zigbee pode utilizá-la durante um ano [15].

Analisando seu perfil técnico, esse Padrão Zigbee utiliza quatro camadas de redes [16]. Sendo que as duas camadas de nível mais alto foi desenvolvido pelo

protocolo Zigbee e as duas camadas inferiores foram utilizado o protocolo criado pelo IEEE 802.15.4. Ou seja foram integrados dois tipos de distintos de protocolos para formar o padrão de comunicação Zigbee [16].

Observamos que padrão de comunicação Zigbee usa em sua camada física e camada MAC o padrão IEEE 802.15.4 e as camadas de níveis mais superiores o padrão criado pela *Alliance Zigbee*. Portanto não confundamos o padrão IEEE 802.15.4 com o padrão Zigbee, mais detalhes no subcapítulo 2.3.3 .

2.3.1 Classes de rede de comunicação sem fio de baixo alcance

Para nos situarmos nos vários conceitos adotados no mundo da comunicação sem fio, podemos classificar, em termo de distância de comunicação, em duas técnicas de comunicação de baixo alcance bastante utilizada no mercado: WLAN e WPAN (ver figura 2.2).

WLAN (IEEE 802.11) é uma classe de rede sem fio de curto alcance que propõe a extensão, ou até mesmo a substituição, da rede de comunicação com fios (LANs) [11]. A WLAN pode ser integrada normalmente com a LAN [10]. Um exemplo comum de uma rede cabeada pode ser encontrada na rede Ethernet (IEEE 802.3) que pode ser expandida com uso de roteadores wireless formando assim uma rede cabeada integrada com uma rede sem fio [11].

O objetivo dos padrões utilizados pela WLAN é a maximização da taxa de transmissão e da faixa do raio de alcance na cobertura. Este padrão trabalha na frequência de operação em torno de 2.4 Ghz, assim como o padrão Zigbee [13] e Bluetooth, e possui uma taxa de transmissão de até 11 Mbps.

WPANs, em contraste com a WLANs, foram projetadas com o objetivo de substituir as redes de comunicação com fio. Essa classe pode se subdividir em três subclasses: HR-WPANs (IEEE 802.15.3), MR-WPANs (Bluetooth), LR-PAN (IEEE 802.15.4) [17].

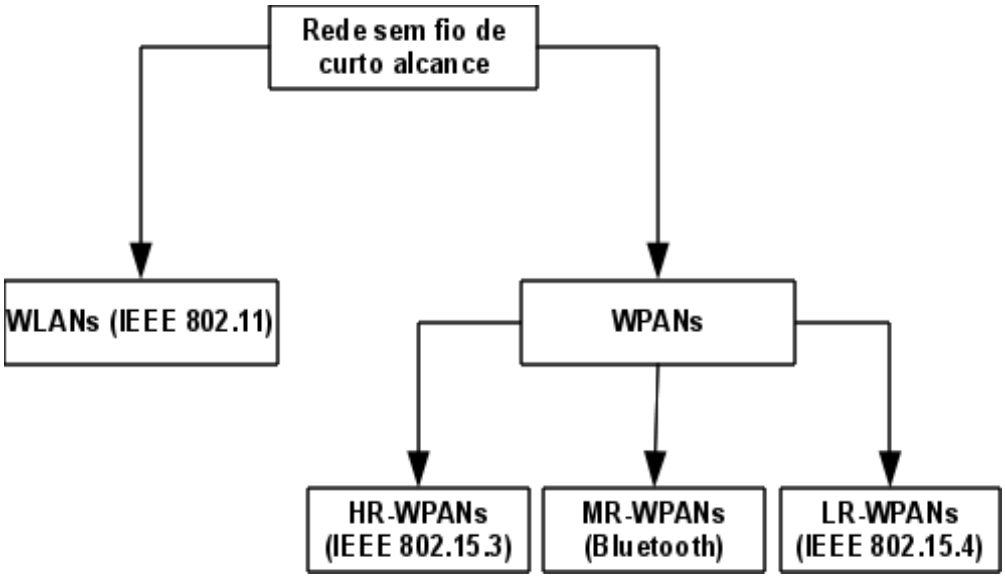


Figura 2.2: Classe de rede sem fio de baixo alcance

O padrão IEEE 802.15.3 subclassificado como área de rede pessoal sem fio de alta transmissão (com o acrônimo de HR-WPANs) suporta uma taxa de transmissão de dados em torno de 11 a 55 Mbps [18] podendo, assim cobrir um raio de 30 a 100 metros trabalhando numa faixa de frequência de 2.4 GHz como no padrão Zigbee e Bluetooth. Esse padrão foi desenvolvido para tarefas que exijam alta taxa de transmissão, como o envio de vídeo de uma câmera para uma TV próxima. A grande desvantagem em se usar tal tecnologia é sua alta complexidade de aplicação associado com alto custo comercial (ver figura 2.3).

O padrão Bluetooth que se enquadra na subclasse como rede de área pessoal sem fio de média transmissão (com o acrônimo de MR-WPAN). Atinge uma taxa de transmissão em torno de 1 a 3 Mbps e podem ser usados para substituir acessórios de computadores como fone de ouvido, mouse e etc… Porém exigem uma menor complexidade e custo em relação ao padrão IEEE 802.15.3, mas ainda assim consomem uma significativa energia de alimentação [11].

Já o padrão Zigbee possui a menor complexidade e menor custo da classe WPAN. Seus dispositivos consomem a menor energia de alimentação . Esse baixo custo é refletido na minimização da taxa de transmissão. Não se poderá ter, nesse

padrão, uma conexão de internet ou transmissão de música de um cd-rom para o fone de ouvido, tais tarefas exigem uma considerável taxa de transmissão. Foi projetado para transmitir e receber simples comando e obter informações de sensores de temperatura e umidade [11].

A figura 2.3 poderá dar uma intuição da complexidade dos dispositivos de diferentes padrões em relação à taxa de transmissão. Podemos perceber quanto mais alta a taxa de transmissão maior será o custo e o consumo de energia.

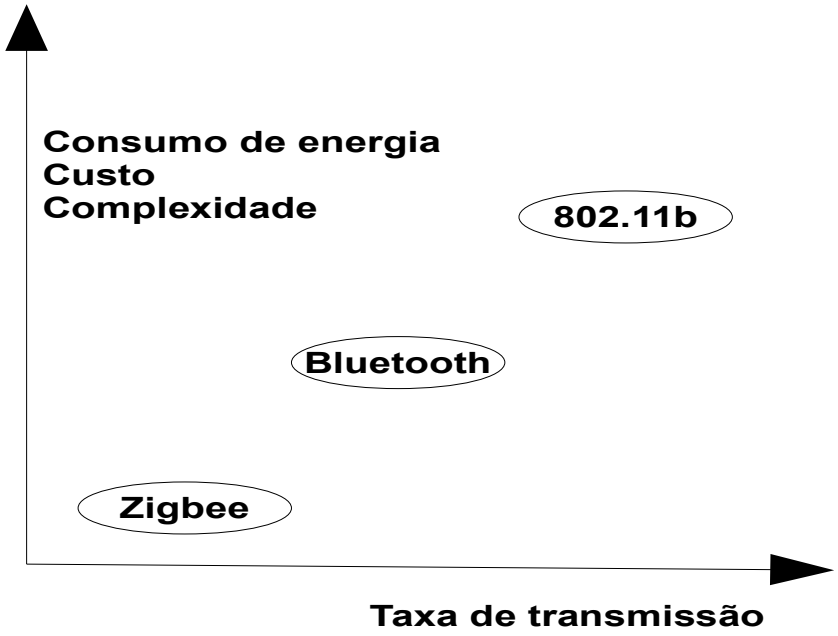


Figura 2.3: Comparação dos padrões: Zigbee, Blutooth e IEEE 802.11b [11]

Tabela 1: Características dos padrões Zigbee, Bluetooth e IEEE 802.11b.

	Taxa de transferência	Raio de alcance	Aplicação
Zigbee	20 a 250 kbps	10 a 100 m	Redes de sensores sem fio
Bluetooth	1 a 3 Mbps	2 a 10 m	Fones e mouses sem fio
IEEE 802.11b	1 a 11 Mbps	30 a 100 m	Conexão de internet sem fio

2.3.2 Funcionalidades dos dispositivos definidos pelo sistema Zigbee

2.3.2.1 Tipos de dispositivos Zigbee

No Padrão Zigbee pode ser observado dois tipos de dispositivos que interagem entre si numa rede. O tipo de dispositivo está intimamente ligado a quantidade de tarefas que uma pilha de instruções armazenada na memória do microcontrolador poderá executar. São eles os FFD (Full Feature Device) e o RFD (Reduce Feature Device) [11].

O FFD é um dispositivo que possui a pilha de instruções completa em sua memória e possui a característica de incorporar qualquer papel (ver capítulo 2.3.2.2) na rede descrita pelo padrão IEEE 802.15.4 e podem se comunicar com qualquer dispositivo na rede [11] [19].

Os dispositivos RFD possui um reduzido conjunto de instruções carregadas em sua memória e está limitado a pequenas tarefas podendo, assim, se comunicar apenas com os FFD [11] [19].

2.3.2.2 Papeis dos dispositivos Zigbee

Uma outra qualidade que pode ser encontrada no sistema de comunicação Zigbee é a atribuição em que cada dispositivo pode assumir na rede (ver Figura 2.4). Podemos ter os seguintes papeis numa rede já formada: coordenador, roteador e dispositivos finais [11][13][19].

Coordenador é responsável por formar a rede de trabalho selecionando um canal de comunicação e um endereço específico. Ele permiti a seleção de acesso aos roteadores e dispositivos finais que pretendem juntar se a rede de trabalho preestabelecida [11][13][19]. Esse papel é exercido por dispositivos tipo FFD.

Os *roteadores,* exercidos por dispositivos do tipo FFD, têm o papel de oferecer rota de caminhos alternativos para pacotes de dados, quando um destino possui certas barreiras físicas, ou troca de informações em andares diferentes, etc... O mesmo pode transmitir e receber dados [11][13][19].

Dispositivos finais são geralmente exercidos por dispositivos com tarefas reduzidas RFD sendo seu papel relacionado com o envio e recebimento de informação advinda de dispositivos tipo FFD [11][13][19].

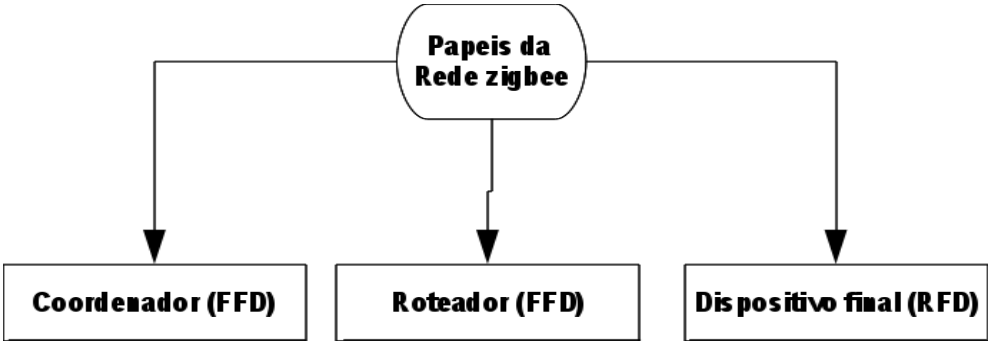


Figura 2.4: Papeis dos dispositivos Zigbee na rede

2.3.2.3 Modo de operação dos dispositivos Zigbee

Esta funcionalidade está diretamente ligada ao consumo de potência elétrica que o dispositivo poderá dispender em seus diferentes modos de trabalho. Os modos que o padrão Zigbee propõe são os seguintes: modo inativo, modo de transmissão, modo de recepção, modo de comando, modo ativo e modo de sono [20].

2.3.2.3.1 Modo de inativo

É o momento em que o dispositivo não está recebendo ou transmitindo dados. Neste modo o dispositivo Zigbee está em processo de verificação de dados válidos vindo da antena [11][13][19].

O dispositivo sairá deste estado com as seguintes condições:

- Quando dados seriais advindos do buffer estão pronto para ser empacotados (modo de transmissão);
- Dados prontos para transmissão são coletados da antena do dispositivo (modo de recepção);
- Modo de sono, quando são dispositivos finais;
- Quando a sequência de dados de comando é iniciada (modo de comando).

2.3.2.3.2 Modo de recepção

Se um dado válido (ou dado cujo o formato pertence ao padrão zigbee) é recebido, o dado é transferido para o buffer de transmissão serial[11][13][19].

2.3.2.3.3 Modo de comando

Para modificar ou ler os parâmetros de rádio frequência de um dispositivo, o mesmo deve ficar no modo de comando. Ao entrar neste modo todos os dados recebidos serão interpretados como linha de comando [11][13][19].

2.3.2.3.4 Modo sono

É o modo de menor consumo de energia, chegando a consumir alguns micro-amperes [11][13][19]. É solução encontrada para que o padrão Zigbee e que seus módulos sejam o que menos consomem energia da classe de rede de curto alcance [11][13][19].

2.3.2.3.5 Modo de transmissão

Quando o dispositivo recebe os dados seriais e está pronto para empacotá-los, ele sairá de modo inativo e tentará transmitir o dado para o destino desejado. O endereço destinado do dado determinará que módulo na rede receberá o dado [11] [13][19].

No modo de transmissão, o dispositivo assegura-se de que o endereço do módulo que receberá os dados e a rota que os dados irão trafegar são previamente conhecidos. Se todos os requisitos são satisfeito os dados serão transmitidos [11] [13][19].

O dispositivo quando se prepara para enviar os dados, ele verifica se o endereço de 16 bits é conhecido, caso negativo o dispositivo entrará no *estado de busca do endereço na rede.* Se a rota não é conhecida o mesmo dispositivo entrará no *estado de busca de rota* com a intenção de estabelecer uma rota de comunicação entre os módulos. Caso o endereço de 16 bits não seja encontrado na rede ou se uma rota de comunicação não foi estabelecida, o dado será descartado [11][13][19].

Quando um dado é transmitido de um módulo para o outro, uma mensagem de confirmação é enviada para o transmissor pela mesma rota que o dado trafegou. A função desta mensagem é informar ao módulo transmissor que o dado foi

recebido com sucesso. Caso esta mensagem não chegue ao módulo transmissor, o dado será retransmitido (ver Figura 2.5) [11][13][19].

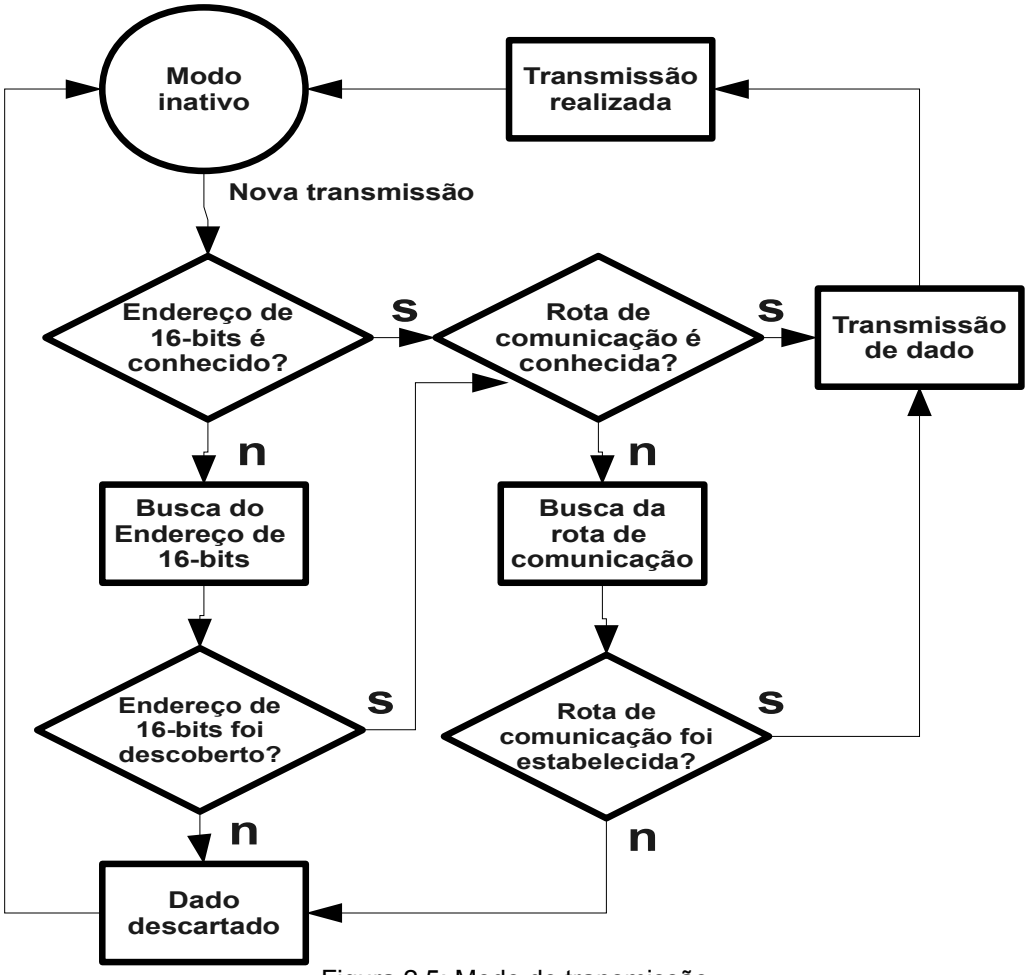


Figura 2.5: Modo de transmissão

2.3.2.3.6 Modo ativo

Este modo é assim definido quando o dispositivo zigbee está no modo de recepção, ou no modo de comando, ou no modo de transmissão [11][13][19].

2.3.3 Camadas de rede do sistema Zigbee

O conceito de camada de rede é o modo mais prático de delimitar tarefas e funções visando a facilidade de alteração de projeto. Ou seja, um grupo de tarefas que tenham funções com um determinado grau de afinidade podem ser destacados como uma camada. Cada camada é responsável por uma determinada função na arquitetura. Camadas adjacentes se comunicam através de linguagens pré-determinadas em suas estruturas chamadas protocolos. Quando desejamos fazer alterações/correções numa parte do protocolo, geralmente é feita numa determinada camada. Não precisando, assim, modificar o projeto por inteiro, sendo, portanto, uma grande vantagem [16].

A rede de comunicação zigbee segue o padrão definido pelo padrão OSI-ISO. Percebe-se que no padrão OSI-ISO tem se 7 camadas, no entanto, a rede de comunicação sem fio Zigbee possui apenas as camadas essenciais para que os módulos de comunicação possuam as características de baixo custo, baixa taxa de transmissão, economia na energia utilizada e baixa complexidade [11][13][19].

O número de camadas que os módulos zigbee possuem está em torno de quatro (ver Figura 2.6). As duas camadas mais baixas (PHY e MAC) são definidas pelo padrão IEEE 802.15.4 e as duas camadas mais altas (NWK e APL) são padronizadas pela Zigbee [16].

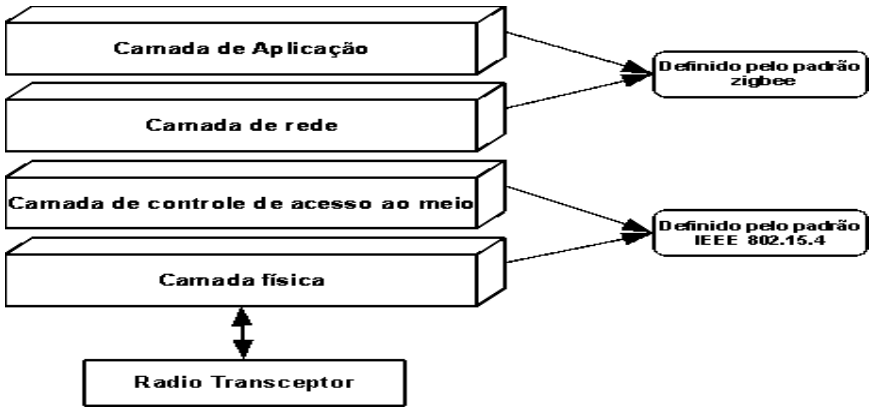


Figura 2.6: Camadas de protocolo de rede do sistema Zigbee

Observa-se que o padrão IEEE 802.15.4 não deve ser confundido com o padrão Zigbee. O padrão IEEE 802.15.4 [13] foi desenvolvido independente do padrão Zigbee. É possível a construção de um sistema de comunicação sem fio com baixa taxa de transmissão baseado no padrão IEEE 802.15.4. Ou seja o usuário irá criar uma solução com aplicação simples na camada superior (ver Figura 2.7) [16].

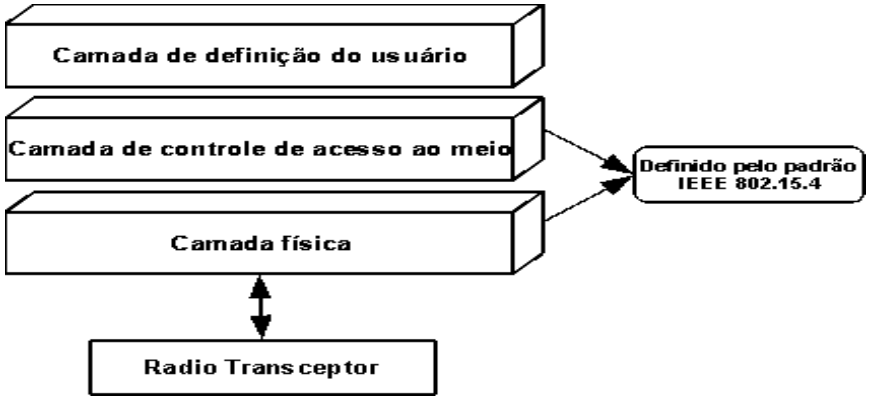


Figura 2.7: Aplicação customizada pelo usuário

2.3.3.1 Camada de Rede

A camada de rede oferece basicamente dois serviços: dados e gerenciamento [16]. O fluxo de dados que trafegam na rede, a distribuição de endereços de 16 bits na rede formada pelo Coordenador, o controle de distância que um frame poderá viajar na rede, a forma de comunicação do frame com os demais dispositivos (se irá ser em comunicação multicast, broadcast ou unicast), todas essas funções são de responsabilidade da camada de rede [16].

2.3.3.2 Camada de Aplicação

A camada de aplicação é o nível mais alto do sistema de comunicação sem fio Zigbee. Podemos encontrar nesta camada três seções: *a application support (APS) sublayer*, *ZigBee Device Objects (ZDO)* e a *application framework (ver figura 2.8)[16].*

A *application support (APS) (ver na figura 2.8) sublayer* oferece basicamente uma interface entre a camada network e a camada de aplicação [16].

A *application framework* é a subcamada *(ver na figura 2.8)* onde estão os *application objects* armazenados para o controle e gerenciamento desta camada num dispositivo Zigbee [16].

Os *application objects, observado na figura 2.8,* são desenvolvidos para um específico perfil de aplicação (*profile application)* e são produzidos pelas empresas que fabricam os dispositivos Zigbee. Quando falamos em perfil estamos nos referindo a que aplicação nosso dispositivo Zigbee irá atuar. Se irá gerenciar a energia de um prédio, ou se irá monitorar o estado fisiológico de um ou mais paciente num hospital, ou se irá controlar o processo de uma industria. Para cada uma destas aplicações existe um *profile application* proprietário de uma empresa [16].

Num dispositivo Zigbee pode ser armazenado 240 *application objects* diferentes, veja na figura 2.8. Com um único rádio pode-se ter o controle de 240 dispositivos conectados ao mesmo. No caso de automação predial, é capaz de se ter o controle de 240 lâmpadas independentemente uma das outras através de seus respectivos endpoint address [16].

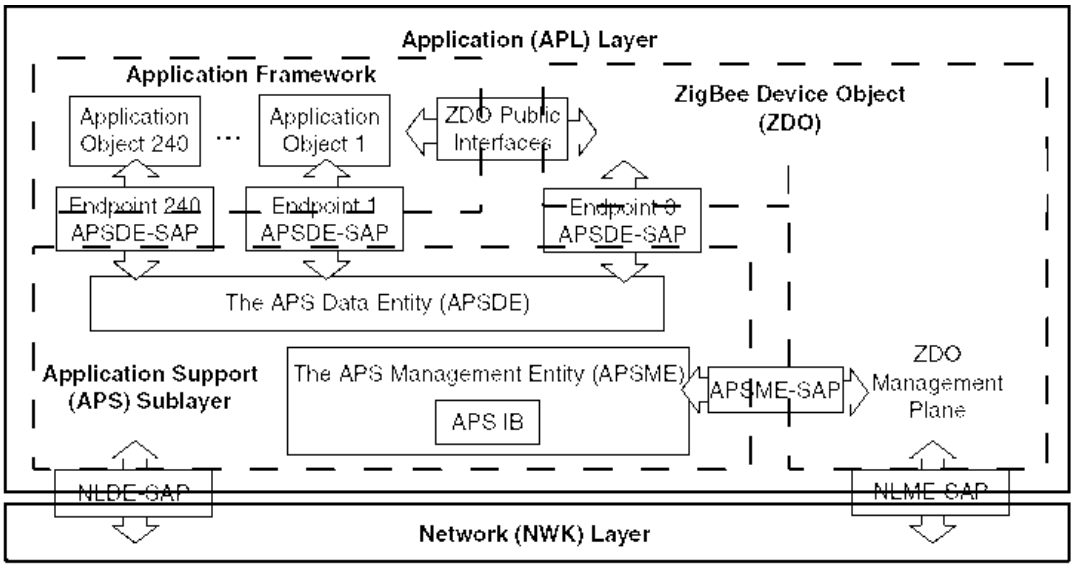


Figura 2.8: Camada de aplicação Zigbee [16]

Caso uma empresa **X** desenvolva um determinado perfil de aplicação - *profile application,* para atuar na área de monitoramento de pacientes num hospital. E outra empresa **Y** resolva concorrer na área de monitoramento de hospitais e cria o seu próprio *profile application.* Esperasse que o dispositivo da empresa **X** possa se comunicar com o da empresa **Y** sem nenhum problema. No entanto essa afirmação só será verdadeira se os mesmos possuírem a certificação de funcionamento da *Alliance Zigbee* [16].

2.3.4 Topologia da rede do sistema Zigbee

A topologia de uma rede Zigbee é gerenciada pela camada de rede, devendo portanto possuir uma das duas topologias estabelecidas pelo padrão IEEE 802.15.4: topologia estrela ou a topologia ponto a ponto [16].

Numa topologia estrela os *dispositivos finais* apenas se comunicam com o *coordenador,* não havendo a possibilidade dos dados serem retransmitidos pelos roteadores (ver Figura 2.9). Análogo ao sistema de comunicação mestre-escravo, ou seja, os End Devices apenas se comunicam com os Coordenadores [16].

Na topologia ponto a ponto cada módulo Zigbee pode se comunicar com o módulo mais próximo. Ou seja, existe a possibilidade de roteamento de dados. Nessa topologia, a rede é formada com os módulos exercendo todos os papeis (ver seção 2.3.2.2) estabelecido pelo IEEE 802.15.4 [16].

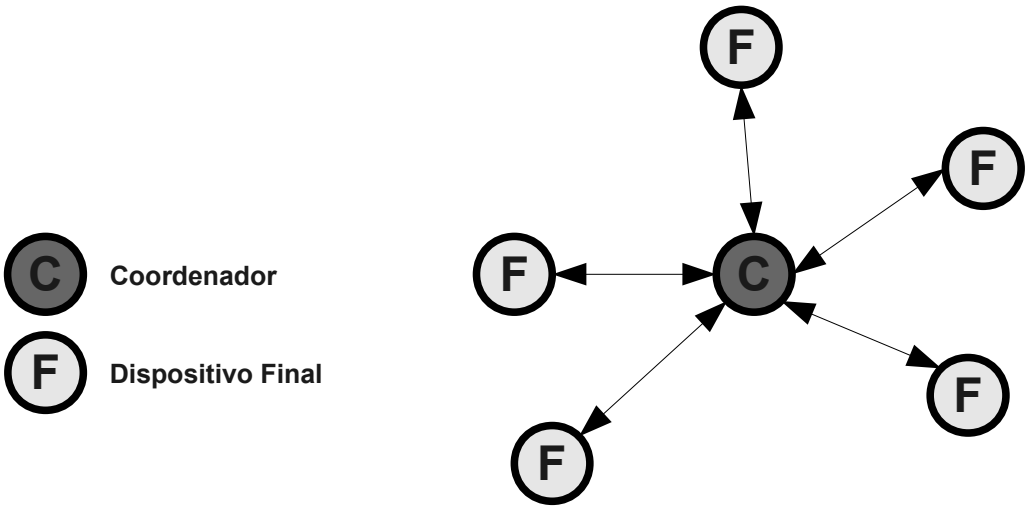


Figura 2.9: Topologia estrela

Dependendo de como é organizada a inclusão de novos membros da rede, a topologia ponto a ponto poderá assumir duas subdivisões: topologia de rede em malha e topologia de rede em árvore [16][19].

A topologia de rede em malha pode ser diferenciado quando os novos membros podem se comunicar com os dispositivos da rede que estão dentro do seu alcance de radiação eletromagnética (ver Figura 2.10). Ou seja, o único impedimento para não haver comunicação com outros dispositivos é a potência de radiação [16][19]. Como observado na figura 2.10 os End Devices podem usar os Roteadores para se comunicar com o Coordenador.

Enquanto na topologia em árvore os membros só podem crescer de forma metódica e organizada (ver Figura 2.11). O nome desta topologia se dá da mesma forma de como os novos dispositivos se juntam a rede. Sendo que os roteadores funcionam como galhos e os dispositivos finais como folhas. Quando novos

dispositivos finais precisam se juntam a rede, eles precisam verificar qual o dispositivo roteador disponível mais próximo que poderá recebê-lo. Em outras palavras, a rede poderá se expandir com a inclusão de novos dispositivos roteadores [16][19].

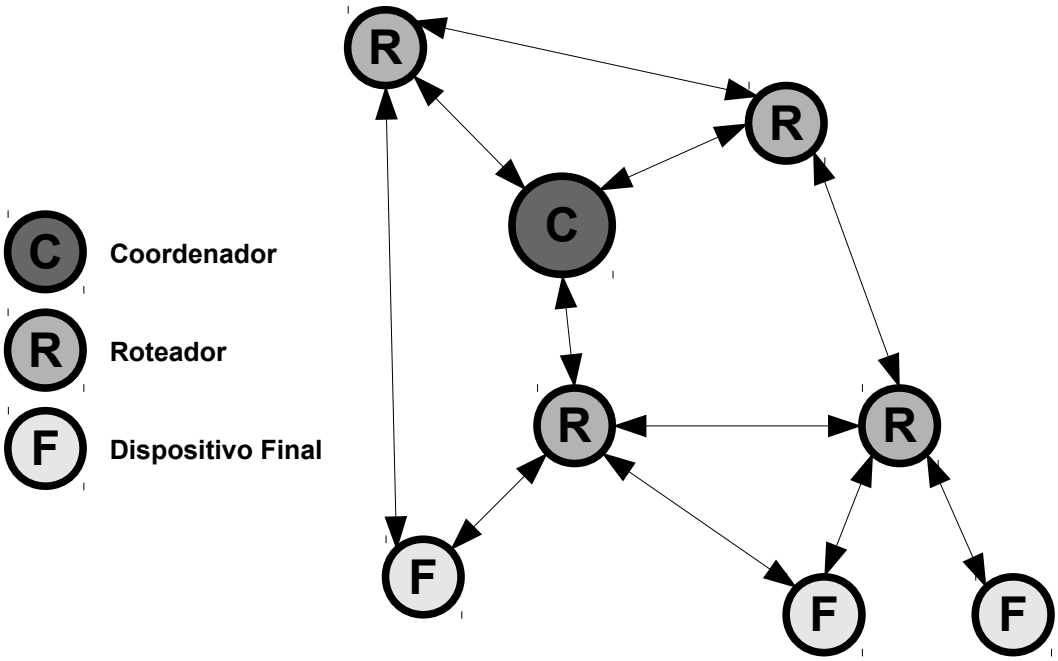


Figura 2.10: Topologia em malha

Note na Figura 2.11 que quando um dispositivo final **A** pretende enviar um dado para o dispositivo final **B** e existe uma barreira física entre eles, os dados poderão assumir uma rota que viabilize a comunicação entre os dispositivos finais [16][19].

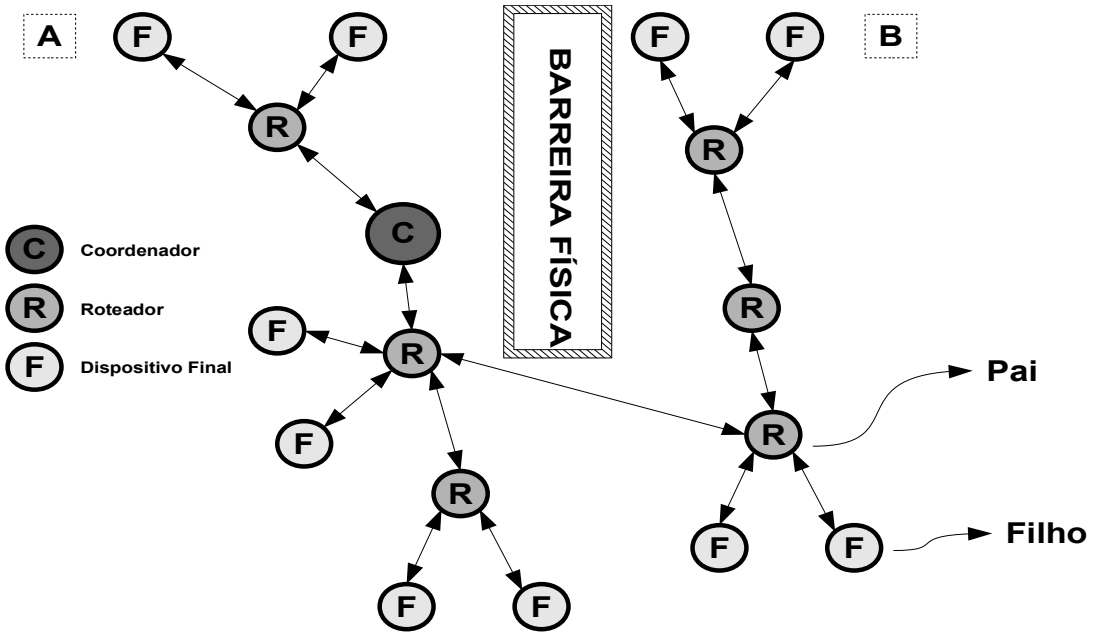


Figura 2.11: Topologia em árvore

2.3.5 Comportamento da rede definido pelo padrão Zigbee

Defini-se o sistema de comunicação sem fio Zigbee como sendo a associação do padrão Zigbee com o padrão IEEE 802.15.4 (ver seção 2.3.3). Portanto percebe-se que o gerenciamento de dispositivos na rede, a escolha do canal de comunicação com menor ruído, o melhor caminho para o tráfego dos dados, a distribuição de endereços dinâmicos de rede são características do padrão Zigbee [16][19].

2.3.5.1 Formação de uma rede Zigbee

A rede de trabalho dos dispositivos Zigbee é chamada de ***PAN***. Que por sua vez, cada rede formada possui um endereço específico chamado ***PAN ID*** que é o meio para diferenciar as diferentes redes formadas por diferentes dispositivos

coordenadores e esse endereço deverá ser armazenado em cada dispositivo Zigbee ao se juntar à rede especificada [16][19].

Para que haja uma PAN o coordenador realizará uma série de leitura com intenção inicial de procurar um endereço e um canal de comunicação disponível (ver Figura 2.12) para a comunicação. Para isso ele verifica o nível de energia de cada canal testado (*Energy Scan*). Se o nível de energia de um determinado canal for alto esse canal não entrará na lista de memória de canal disponível no coordenador [16] [19][21].

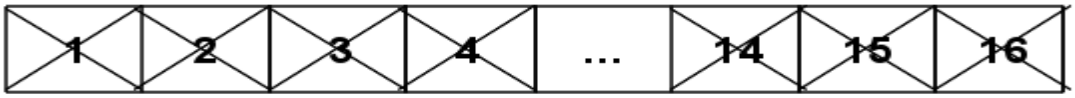


Figura 2.12: Verificação de canal apto para comunicação. Os canais disponíveis são: 3, 14 e 16.

Ao verificar a energia dos canais testados, o coordenador irá verificar se os canais habilitados na sua memória está sendo usado por outro coordenador. Para essa verificação, o coordenador envia um quadro em broadcast solicitando os canais e endereços que estão sendo utilizados numa possível rede de trabalho. Coordenadores ou roteadores responderão a esta solicitação enviando um quadro com o canal e o endereço já usados na possível rede de trabalho e se há ou não dispositivos para se juntar a rede de trabalho em formação [16][19][21].

Depois de ter feito o teste de energia (Energy Scan) e a leitura de canais e endereços utilizados (Pan Scan), o coordenador irá analisar todos os quadros recebidos contendo informações de canais e endereços utilizados e tentará, com isso, conectar-se a um canal e endereço não utilizado, formando, assim, uma rede de trabalho. O coordenador se apodera do mesmo canal e endereço ainda que exista um reset ou power cycle [16][19][21].

É importante frisar que só existirá um dispositivo coordenador numa rede formada. Não podendo existir na mesma rede dois dispositivos coordenadores com o mesmo ***PAN ID*** [16][19]*[21].*

A rede de trabalho Zigbee é formada quando o coordenador seleciona um canal de comunicação e o PAN ID. Após isso, roteadores e dispositivos finais poderão ter acesso à rede formada [16][19][21].

Todo os dispositivos da rede zigbee recebem um endereço de 16-bit ao se juntar a PAN, sendo o endereço de rede do coordenador sempre 00h [19].

2.3.5.2 Juntando-se a uma PAN

Após o coordenador iniciar uma PAN, os roteadores ou dispositivos finais devem se juntar a uma PAN mais próxima para formar uma rede de trabalho. Para isso eles fazem um processo de leitura de PAN (Pan Scan) semelhante ao coordenador para verificar as PAN mais próximas disponíveis. Após esta leitura, o roteador ou dispositivos finais analisarão uma lista de PAN disponíveis para se juntar [19].

2.3.5.3 Permitindo a entrada de dispositivos

Coordenadores ou roteadores permitiram o acesso de dispositivos a rede. O controle de acesso dependerá de dois fatores: se o acesso é permitido ou se o número de dispositivos filhos já chegou ao limite máximo [19].

2.3.5.4 Segurança

Se configurado como estado de segurança, o coordenador iniciará a rede Zigbee usando uma chave de criptografia de 128 bits. Somente dispositivos que possuem a mesma chave, poderão terem o acesso à rede formada [22].

Aquisição desta chave poderá ser feita por pré-configuração ou na aquisição na conexão da rede existente [19].

2.3.6 Consumo de Energia

A geração de energia elétrica juntamente com seu consumo consciente tem obtido consideráveis e importantes discussões em diversas partes do mundo. Neste contexto podemos evidenciar no padrão zigbee uma tecnologia promissora na otimização do consumo de energia nos mais diversos setores da sociedade [11].

2.3.6.1 Característica do descarregamento de baterias

A capacidade de uma bateria é mensurada em mAh. Se uma bateria possui uma capacidade de 500mAh e passa a suprir uma carga média de 20mA então ela terá uma vida útil de 25h [11].

O modo pelo o qual a bateria fornece corrente elétrica a uma carga poderá influenciar na duração da bateria [11]. Um exemplo disto pode ser um dispositivo zigbee em *modo sono* consumindo 1uA, porém quando dispositivo entra em modo ativo consome uma corrente elétrica de 30mA no tempo de 2s. Caso o intervalo entre modos ativos for bastantes breves não dando tempo suficiente para a mesma se recuperar, será provocado um desgaste precoce na vida útil da bateria [11].

2.3.6.2 Um método de cálculo simples para vida útil de uma bateria

O primeiro procedimento para os cálculos da vida útil é utilizar um cenário simplificado para a montagem do sistema de comunicação [11].

O cenário da tabela 2 ilustra conjuntura em que o dispositivo zigbee sai do *modo sono,* entra no *modo de transmissão* a cada duas horas por seu ciclo de clock, obtém a informação do sensor e transmite os dados para o coordenador. Em seguida, o dispositivo volta para o *modo sono* depois de receber a confirmação do envio correto dos dados. Caso haja uma perda de informação o passo 4 a 6 será repetido [11].

Tabela 2: Caso simplificado da consumo de energia da bateria por dispositivo zigbee

Passo	Ação	Duração	Corrente média	Energia(mAh)
1	Dispositivo em modo sono	2 horas	1 uA	2×10^{-3}
2	Transição do modo sono para modo de transmissão	10 ms	50 uA	1.39×10^{-7}
3	A informação do sensor é aquisitada, processada e armazenada	700 us	5 mA	1.39×10^{-6}
4	Transmissão dos pacotes de dados	550 us	20 mA	3.06×10^{-6}
5	Dispositivo em modo de recepção esperando confirmação de envio de dados corretos	400 us	20 mA	2.22×10^{-6}
6	Dispositivo volta para o modo sono			
Total de energia para esse evento				2.01×10^{-3}

Note que para o *modo ativo* é consumido $6{,}61 \times 10^{-6}$ mAh em comparação com 2×10^{-3} mAh no *modo sono.* Isso significa dizer que em condições de pequeno ciclo de clock o *modo ativo* tem uma baixa influência na vida útil da bateria. Ou seja, o *modo sono* possui um maior impacto no consumo de energia.

Em cálculos em que se busca maior precisão, deve ser levado em consideração a eficiência da bateria e a auto-descarga [11].

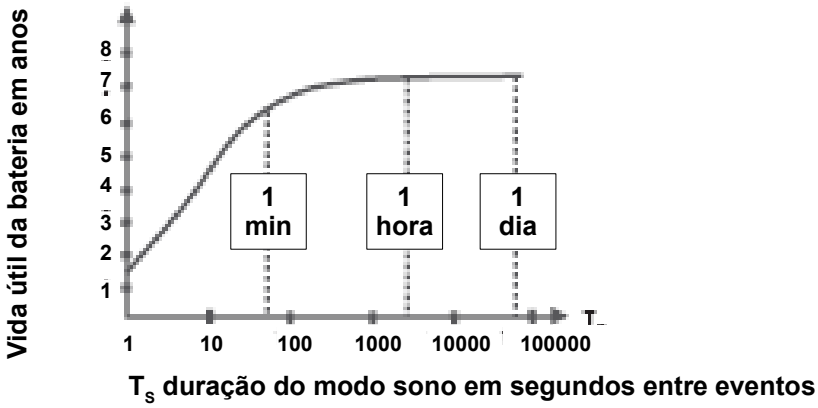


Figura 2.13: Vida útil da bateria em função do tempo de modo sono [11]

A impressão de que se passa quando utilizamos o modo sono é que quanto maior o intervalo para o tempo de sono maior será a duração da bateria. Porém é observado na figura 2.13 que existe uma saturação ao aumentarmos demasiadamente o tempo de sono do dispositivo zigbee.

Existem vários métodos oferecidos pelo padrão zigbee para oferecer o consumo eficiente de energia. Sendo essa característica uma marca fixa da Zigbee Alliance.

2.3.7 Zigbee Coexistência

Coexistência é a capacidade de dispositivos sem fio de diferentes tecnologias poderem operar perto uns dos outros sem interferência [17] na mesma faixa de frequência. O Padrão Zigbee pode trabalhar na banda de frequência 2.4 Ghz, assim

como IEEE 802.11b/g, *Bluetooth e* alguns telefones sem fio. Todos essas tecnologias podem trabalhar próximas entre si sem causar dano no dado transmitido, ou sejam coexistem [23] [24].

Como o protocolo Zigbee é destinado a operar numa frequencial que não necessita de licenciamento, seus dispositivos deveriam sofrer interferência de outros aparelhos que trabalham na mesma frequência por ser tratar de uma faixa de frequência secundária, ou seja, uma faixa de frequência que não garante a proteção a interferência. Porém através de técnicas como CSMA/CA, espalhamento espectral, CCA, CS dentre outros são que permitem a coexistência na proximidade outros sistemas de comunicação sem fio.

2.3.8 Licenciamento da utilização da frequência de comunicação perante órgãos regulamentadores

A grande maioria dos países do mundo possuem órgãos responsáveis pela regulamentação da radiofrequência utilizadas na comunicação sem fio de seus respectivos países. No Brasil, este órgão chama-se ANATEL.

Os dispositivos que utilizamos neste trabalho (ver seção 3.2.3) são homologados pela ANATEL e não necessitam de licença para operar devido à baixa potência e faixa de frequência de operação que esses módulos possuem.

2.4 COMUNICAÇÃO USB

A necessidade de constante troca de dados entre processador e o mundo externo tem levado a criação de barramento de dados e de portas de comunicação [25] [26].

O barramento de dado é uma via compartilhada que liga os dados trafegados do processador aos dispositivos externos que estão conectados às portas de comunicação. As portas de comunicação, por sua vez, conectam os periféricos ao barramento. Com essa definição, podemos introduzir que a comunicação USB utiliza o barramento USB para se comunicar com dispositivos externos através das portas USB [25] [27].

A *Universal Serial Bus – USB* – foi criado para substituir antigos e lentos barramentos como: barramento paralelo, barramento serial , conexões de teclados e outros. Hoje a USB é o padrão de barramento da maior parte dos periféricos conectáveis ao computador pessoal [28][27].

2.4.1 USB host

O *USB host* interage com os *USB devices* através do *Host Controller*. O host é responsável por [29]: Detectar a conexão e desconexão de *USB devices*; gerenciar o controle de fluxo entre *host* e *USB devices; g*erenciar o fluxo de dados entre o *host* e *USB devices; c*oletar dados estatísticos do sistema USB; oferecer potência elétrica para conexões com *USB devices [29].*

2.4.2 USB device

O USB devices são divididos em duas principais classes: funções e hubs [30].

2.4.2.1 Funções

As funções são classes de *USB device* que transmitem ou recebe dados ou controla informações através do barramento. É normalmente aplicado como um periférico isolado (impressora, teclado, mouse etc...) que se conecta com host através de uma porta ou hub usando um cabo para transmitir a informação [30].

2.4.2.2 Hub

Hubs são concentradores de portas , como pode visto na figura 2.14, cuja finalidade é criar múltiplas conexões a partir de uma única, aumentando, assim, o número de funções USB. Cada conexão vinda de um hub pode ser entendida como uma porta. A arquitetura USB suporta a concatenação de múltiplos hubs. Ou seja na porta de um hub pode-se conectar um outro hub, mediante isso contribui-se com um maior número de portas disponíveis para impressoras, ou pendrivers, ou mouses [30] etc...

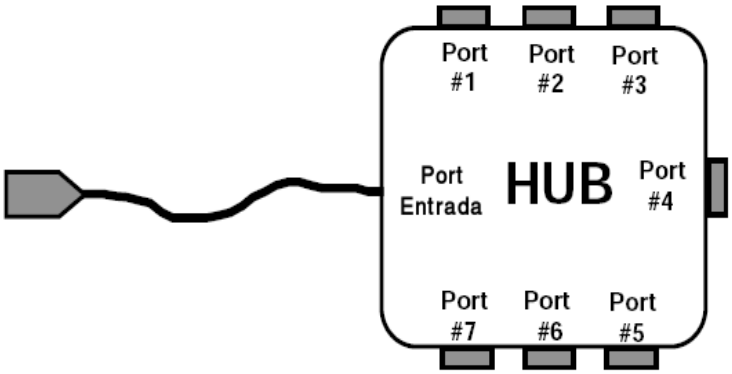


Figura 2.14: Típico HUB [30]

2.4.3 Arquitetura USB

Apresentaremos nesta seção alguns conceitos chaves para o entendimento da arquitetura USB [26].

2.4.3.1 Descrição do sistema USB

O sistema USB é descrito em três principais entidades: interconexão USB; USB devices; USB host [26].

A interconexão USB é o modo pelo qual os *USB devices* são conectados para se comunicar com *host*. Isso inclui:

- Topologia do barramento: Modo de conexão entre *USB devices* e o *host [26]*.

- Relacionamento Inter-camada: Em termos da capacidade de empilhamento, tarefas que são executadas em cada camada no sistema USB *[26]*.

- Modelos do fluxo de dados: O modo pelo qual os dados trafegam no sistema sob o USB entre fabricantes e usuários *[26]*.

- Cronograma USB: O USB oferece uma interconexão compartilhada. Para ter acesso à interconexão é agendado um tempo, para que com isso se tenha o suporte à transferência de dados isossíncrona eliminando, assim, sobrecargas no gerenciamento de dados *[26]*.

2.4.3.1.1 Topologia do barramento

O USB conecta *USB devices* com o *USB host*. Sua interconexão física é escalonada como topologia estrela. Um *hub* está no centro de cada estrela. As linhas representam as conexões *pear-to-pear* entre o *host* e um *hub* ou função, ou um *hub* conectado a outro *hub* ou função. A figura 2.15 ilustra a topologia do barramento, com os Hubs desempenhado o papel de multiplicador de conexões. Note que na figura 2.15 o número de funções para um único host é limitado a sete níveis [25][26].

Devido às limitações de tempo de propagação de dados nos cabos, a topologia permite sete níveis. Observe que nos sete níveis apenas podemos ter cinco *hubs (sendo estes não roothub)* capazes de manter comunicação entre o *host* e algum *device [25][26].*

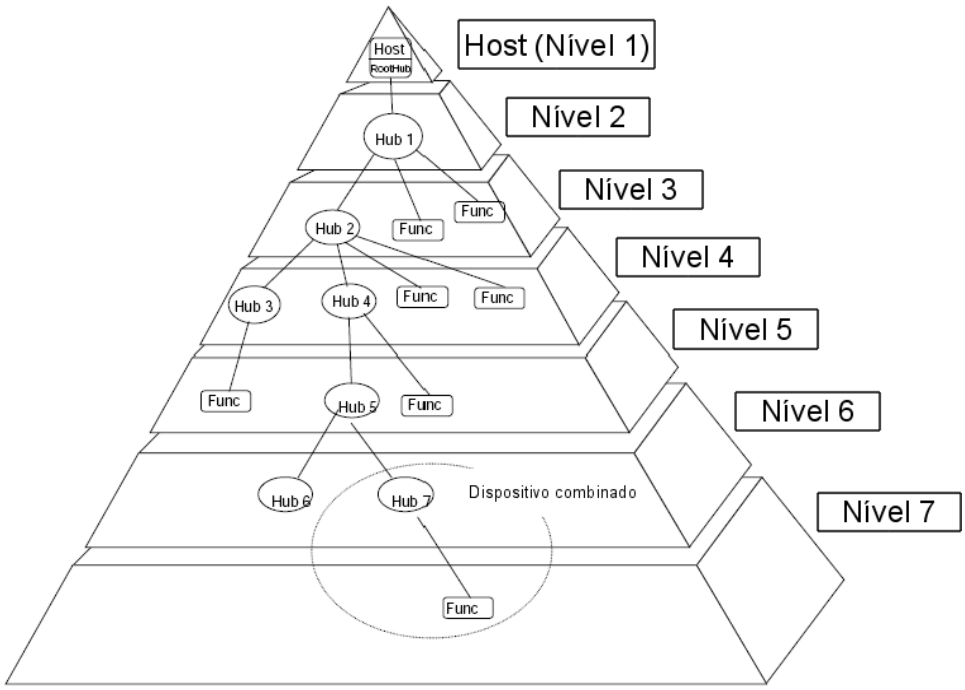


Figura 2.15: Topologia do barramento

2.4.4 Protocolo USB

Toda transferência de dados no sistema USB é iniciado pelo *Host Controller [29] [31].*

A maior parte de transações envolve pelo menos a transmissão de três pacotes de dados. Cada transação começa quando o *Host Controller,* em sua base de tempo, envia um pacote com a descrição do tipo e a direção da transação, o endereço do *USB device*, e o número do *endpoint.* Esse pacote é chamado de "*token package"* [27].

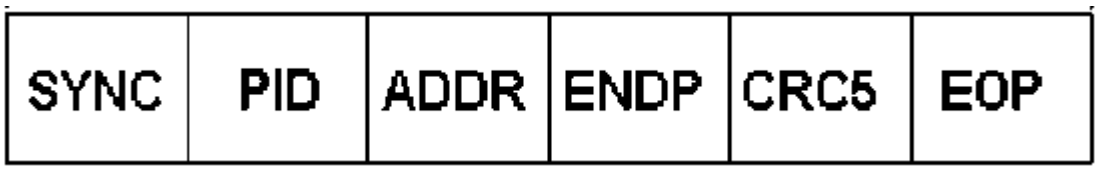


Figura 2.16: Pacote que inicia a comunicação "token package" [31]

O *USB device* é selecionado através da decodificação do campo de endereço que se encontra no *token package* (ver figura 2.16). Numa dada transação pacotes de dados podem ser transferidos nas seguintes direções: do *host* para *USB device* ou do *USB device* para o *host*. A direção de transferência é descriminada no *token package [31]*.

O caminho de transferência de dados USB entre uma fonte ou destino no *host* e uma *endpoint* no *USB device* é referido como pipe [27]. O *endpoint* pode ser entendido com sendo funções e comandos preestabelecidos no protocolo USB, armazenadas em certas regiões de memória do *USB device* cujo tráfego é realizado através dos *pipes.* Através dos *endpoints* podemos ter acesso a informações como: número de série, fabricante, classe, subclasse, versão do Bus USB, tipo de protocolo, número de *endpoints* e outros. Essa função se dá apenas ao *endpoint* 0 (zero) [31].

Existem dois tipos de *pipes*: *stream* e *mensage*. O dado s*tream* não tem nenhuma estrutura USB definida, enquanto *mensage* possui. Os *pipes* possui em sua estrutura: associações de banda, tipo de transferência de dados, características de direcionalidade [31] etc...

2.5 LINUX

Linux é um projeto de kernel[1] desenvolvido desde 1991 por um finlandês chamado Linus Torvald [32]. Ele trabalhou no projeto de adaptação do sistema operacional de código-fonte aberto chamado *Minix,* um pequeno sistema operacional UNIX [33] desenvolvido por Andrew S. Tanenbaum. O projeto consistia em desenvolver um kernel que pudesse gerenciar os recursos do processador 30386 de modo que atendesse a necessidade pessoal de Linus Torvald. O trabalho ganhou força depois de seu projeto ter sido publicado com a famosa mensagem: "*… quando os homens eram homens e escreviam seus próprios "device drivers"?...* Com isso adquiriu adeptos pelo mundo inteiro [28] [32] [33] .

Desde já o Linux vem ganhando força e vêm aumentando consideravelmente seu número de adeptos pelo mundo. Grandes empresas nacionais tem migrado seus computadores para esse sistema operacional e com isso têm sido beneficiados com uma economia da ordem de dezenas milhões de Reais. Como é o caso do Banco do Brasil [34].

Hoje este desenvolvimento é gerido sob condições *GNU General Public License*. Esta condição é baseada nas seguintes diretrizes [32]:

1. A liberdade de executar o programa, para qualquer propósito (liberdade nº 0)

2. A liberdade de estudar como o programa funciona e adaptá-lo para as suas necessidades (liberdade nº 1). O acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade.

3. A liberdade de redistribuir cópias (liberdade nº 2).

4. A liberdade de aperfeiçoar o programa, e liberar os seus aperfeiçoamentos, de modo que toda a comunidade se beneficie deles (liberdade nº 3). O acesso ao código-fonte é um pré-requisito para esta liberdade.

1 Núcleo do sistema operacional

2.5.1 Sistema operacional Linux

É um sistema operacional que utiliza o kernel do Linux como gerenciador do recurso de hardware. [32].

Comumente referido como Linux pelo meio de comunicação e outros, esse sistema vem perdendo uma velha visão de que esse sistema operacional é destinado a profissionais experientes. Hoje tem-se a preocupação de tornar o sistema acessível e fácil de usar. Grandes empresas têm adotado o sistema operacional Linux e têm economizado consideravelmente no setor de informática [32].

Além do mais, o Linux oferece aos profissionais e cientista a utilização do sistema operacional de forma que possa ser alterado. Ou seja procura-se mudar o código fonte do kernel para uma determinada necessidade a qual não poderia ser feita com um sistema operacional proprietário [32].

2.5.2 Distribuição

É um sistema operacional Linux cujo a organização de arquivos e pacotes de programas é administrado por uma organização ou empresa. Cada administrador organiza sua distribuição da melhor forma que lhe convier. Um exemplo de administradores são: Canonical, Red Hat, Debian, Slackware etc [32]...

2.5.3 Software de interface gráfica GLADE

Glade é um programa de código aberto e livre distribuição para utilização e cujo uso é destinado à criação de interface gráfica utilizando-se da biblioteca GTK (*Gimp TooKit*) [35].

GTK é uma biblioteca inclusa na maioria das distribuições Linux. Esta biblioteca é quem realmente tem a capacidade de criar o ambiente gráfico. Usamos o software Glade para abstrair a complexidade do uso da biblioteca GTK a qual possui uma vasta gama de funções de programação [35].

Através do ambiente de trabalho do Glade podemos criar nossa interface gráfica. Depois de montada toda a estrutura da interface desejada, o usuário poderá adicionar o código fonte nos arquivos especificados [35].

Este software oferece o recurso de utilizar várias linguagens de programação como: C, C++, C#, Vala, Java, Perl e outras [35].

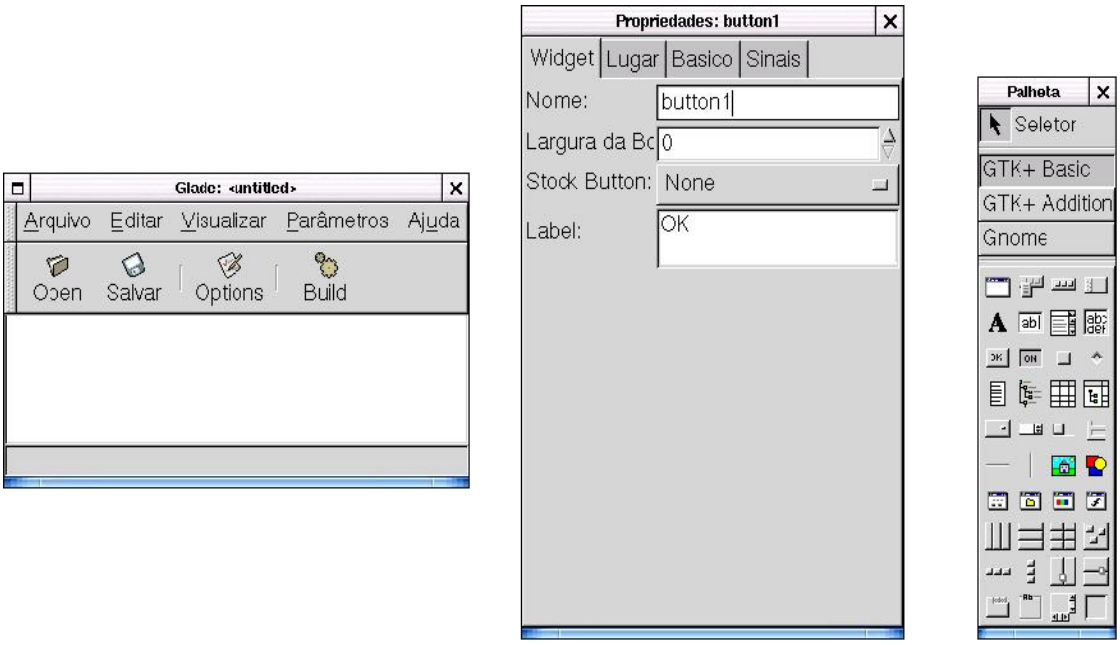


Figura 2.17: Software Glade em uso com as seguintes janelas: Glade, Propriedades e Palheta

Abrindo o Glade, apresenta-se 3 janelas: Glade, Propriedades e Palheta. Na primeira, pode-se escolher abrir ou salvar um projeto, além das opções de projeto (nome, path, etc). Pode-se ainda ver as janelas criadas para o projeto atual. Na janela Palheta, temos uma lista de widgets de GTK (Basic e Additional). Deixe o mouse em cima do widget e espere o tooltip aparecer para saber o nome do mesmo. Por fim, na janela Propriedades, alteramos propriedades dos widgets e sinais conectados aos mesmos [36].

2.6 LIGAS MEMÓRIA DE FORMA – LMF

Os materiais inteligentes são aqueles capazes de se modificarem em reação às mudanças do meio que os envolvem [37]. Dentre estes materiais estão as ligas com memória de forma (LMF), que são ligas metálicas que possuem a capacidade de retornar à sua forma original quando submetidas a um processo termomecânico (temperatura e/ou tensão mecânica)apropriado [38].

Dentre essas mudanças, as LMF's podem variar sua resistividade elétrica ao sofrerem deformação mecânica ou variação de temperatura, voltando ao estado original pela eliminação da tensão aplicada ou do efeito térmico. Por essa propriedade, essas ligas têm encontrado aplicações na construção de válvulas hidráulicas automáticas, mãos robotizadas, instrumentos médico-hospitalares, etc [37][39][40].

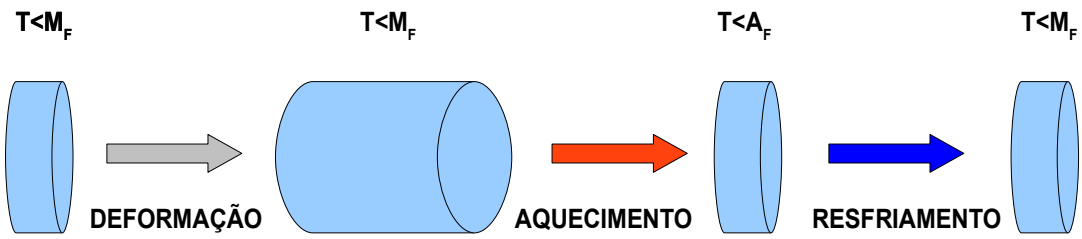


Figura 2.18: Comportamento memória de forma

De acordo com a figura 2.18, ao deformarmos um material com propriedade memória de forma, numa temperatura abaixo de M_F, temperatura final da martensita, este material manterá a deformação. Se aquecermos até uma temperatura acima de A_F, temperatura final da austenita, o material retornará a forma original, antes da deformação. Ao resfriar até uma temperatura abaixo de M_F, o material manterá a forma anterior ao resfriamento.

2.6.1 Transformação da martensítica

As LMF's possuem a propriedade de recuperar sua forma inicial, após sofrerem deformação plástica, por meio de aquecimento ou descarregamento da tensão aplicada. Durante o processo, o material passa por transformação de fase na sua estrutura cristalina. Essa transformação se dá em nível de plano atômico por meio de um movimento cooperativo dos átomos, sem que ocorra difusão atômica [40][41][42]. Inicialmente, a austenita de estrutura cúbica de face centrada (CFC) sofre uma transformação de fase e passa a apresentar uma estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC) denominada martensita [37] .

Conforme a figura 2.19, a transformação da fase martensita pode ocorrer de duas formas: por temperatura ou por tensão mecânica.

2.6.2 Temperaturas críticas de transformação

As ligas memória de forma podem ser caracterizadas através da determinação das temperaturas críticas de transformação, que podem ser obtidas a partir da variação da resistividade elétrica da liga [39][40]. As temperaturas onde ocorrem as transformações de fase da estrutura do material coincidem, aproximadamente, com os pontos de inflexão das curvas levantadas [37]. A figura 2.19 mostra uma curva típica das temperaturas de transformação de uma liga LMF .

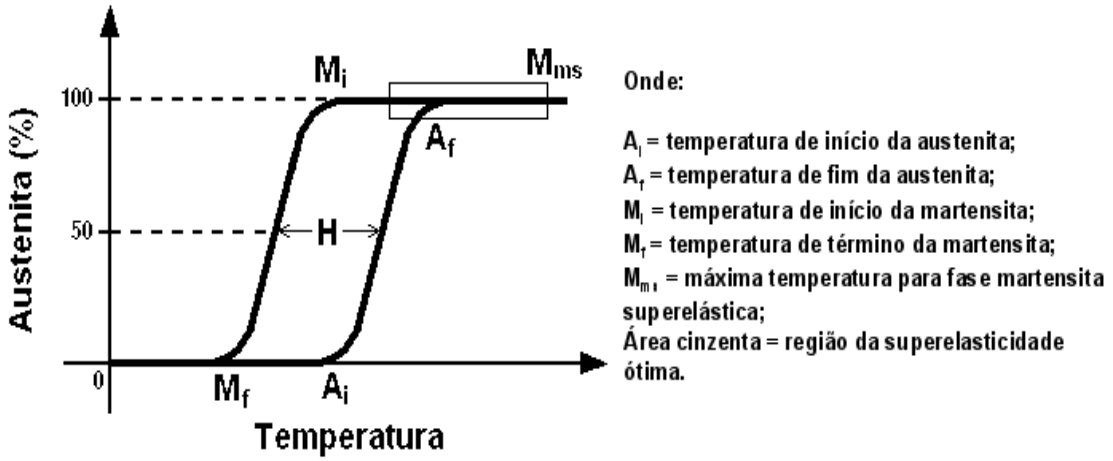


Figura 2.19: Curva típica da transformação de fase de uma LMF [40]

Note na figura 2.19 que quando aquecemos uma LMF sua fase austenita começa a aumentar de acordo com o gráfico na figura 2.19 e conseguinte ao resfriar retornaremos na fase martensita. Observando que o caminho no gráfico retorna de modo diferente comparado ao aquecimento. Isso é devido à histerese do sistema LMF.

Observe na figura 2.19 que **H** representa a histerese do sistema, ou seja, indica o grau de diferença da temperatura entre o processo aquecimento e o processo de resfriamento quando a transformação austenita se encontra em 50% [41].

2.6.3 Comportamento super-elástico

Observamos que na figura mostrada na seção 2.6.2 a transformação em fase martensita ocorre quando a temperatura encontra-se abaixo de M_F. Um outro caminho para induzir a liga para a fase martensita é através do seu comportamento super-elástico conforme visto na figura 2.19.

Essa propriedade é observada quando a liga encontra-se numa temperatura acima da temperatura A_F , ou seja, quando ela estiver na fase austenita. Estando nesta condição de temperatura e aplicarmos uma tensão mecânica na liga, a

mesma entrará na fase martensita. Se em seguida retirarmos essa tensão mecânica a LMF retornará a fase austenita [37].

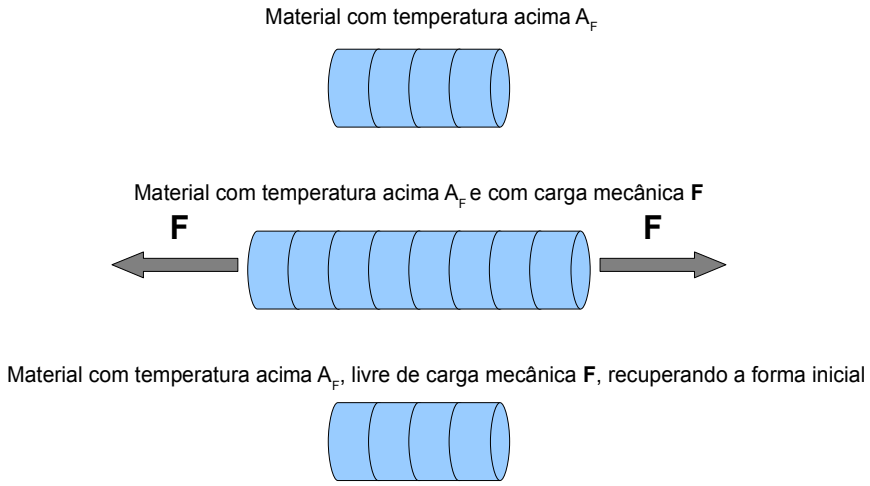


Figura 2.20: Comportamento super-elástico da LMF

De acordo com a figura 2.20, a LMF, sob condições de temperatura acima de A_F, ao sofrer uma carga mecânica deformará e retornará para o estado inicial quando retirarmos esta carga [37].

2.6.4 Mola helicoidal de Ti-Ni

As molas são elementos mecânicos usados para exercer forças, propiciar flexibilidade, e para armazenar energia na forma de energia mecânica de deformação elástica. As molas possuem uma classificação de acordo com a natureza e a forma dos esforços mecânicos aplicados. [37].

As molas helicoidais são capazes de apresentar deslocamentos bem maiores, com esforços mecânicos bem menores do que os alcançados com fios lineares feitos do mesmo material. Esse tipo de mola se presta melhor para aplicações envolvendo esforços axiais de tração ou compressão. A mola helicoidal Ti-Ni apresenta uma alta resistência a desgastes mecânicos como corrosão, umidade dentre outros [37].

2.7 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são componentes eletrônicos, dotados de unidades programáveis utilizados para controle de processos lógicos e de periféricos (outros componentes eletroeletrônicos) ligados a ele [43][44].

O microcontrolador tem desempenhado um fator diferencial na área do processo de automatização no setor industrial. Pois eles tem um grande poder de processamento e armazenamento de instruções somando-se ao barateamento dos mesmo devido a produção em larga escala em circuitos integrados (CI) [43].

O PIC16F877A é um tipo de microcontrolador, usados na instrumentação, que detém as seguintes vantagens [43]:

- Aquisição de dados analógicos e conversão em dados digitais, possuindo sete canais de aquisição (ver figura 2.21);

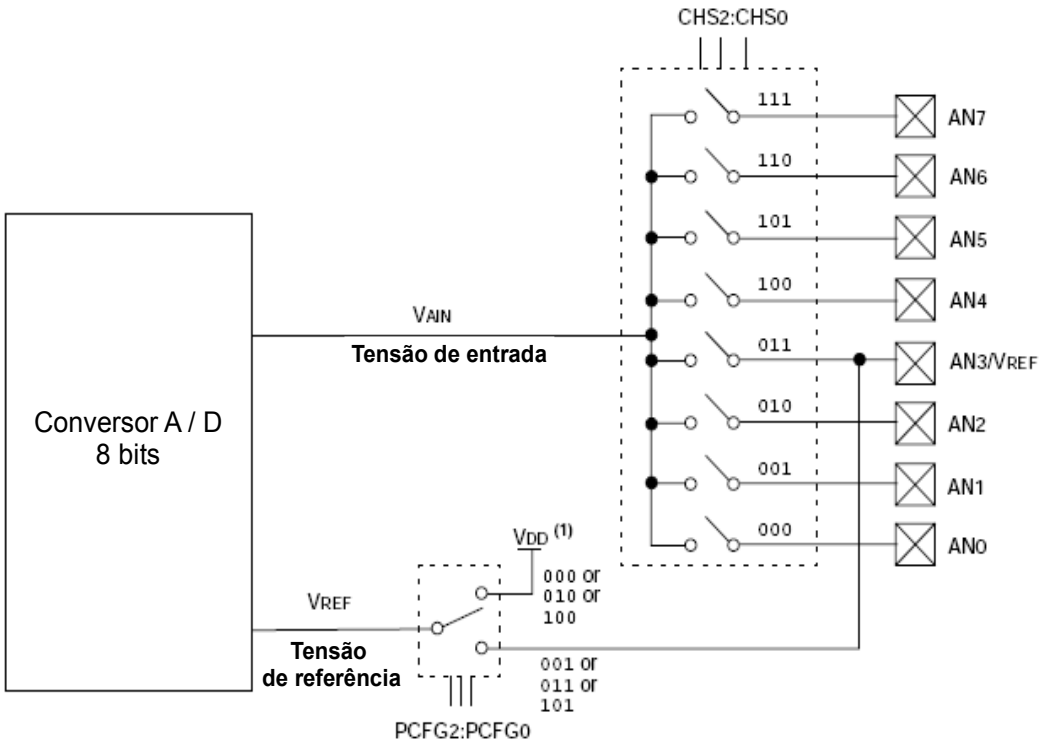


Figura 2.21: Modelo de aquisição analógica digital do PIC16F877A

A figura 2.21 representa os canais de aquisição de dados que o PIC16F877A é capaz de aquisitar de modo sequencial. Ou seja, através do programa o PIC16F877A seleciona o canal que deseja obter amostra.

- Comunicação USART (Universal Sincrono Assincrono Reception Transmition), podendo o microcontrolador comunicar-se com outro microcontrolador ou até mesmo um computador através da porta serial;

- Comunicação com porta serial síncrona com SPI (master) e I2C(mater/slave);

- Comunicação com porta paralela;

- Porta serial universal (RS232 ou RS485) com buffer via hardware (2 bytes);

- 33 pinos de entrada/saída configuráveis e outros.

2.8 CONSIDERAÇÕES DA REVISÃO LITERÁRIA

Nota-se uma diversidade de tecnologia adotada nessa revisão. O uso do zigbee é novidade que está sendo implementada no país e tem um grande potencial. Os microcontroladores PIC16F877A têm mostrado bastante aceitação no mercado. O Linux vem sido adotado em grandes empresas e cada vez mais está ganhando espaço com um sistema operacional robusto. A mola helicoidal Ti-Ni foi um desenvolvimento de tese de doutorado e foi usada como princípio propulsor base para instrumentação. Com isso a aplicação das tecnologias introduzidas para a instrumentação da mola helicoidal Ti-Ni é um trabalho inovador e nunca antes implementado para o fim desejado.

3 METODOLOGIA

3.1 VISÃO GERAL DO TRABALHO

Conforme pode ser observado na figura 3.1, O Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio consiste em seu princípio fundamental no monitoramento da distensão mecânica ΔL de um dispositivo eletromecânico. Este sistema irá responder a uma distensão mecânica, atuando de forma que a informação seja repassada de forma íntegra.

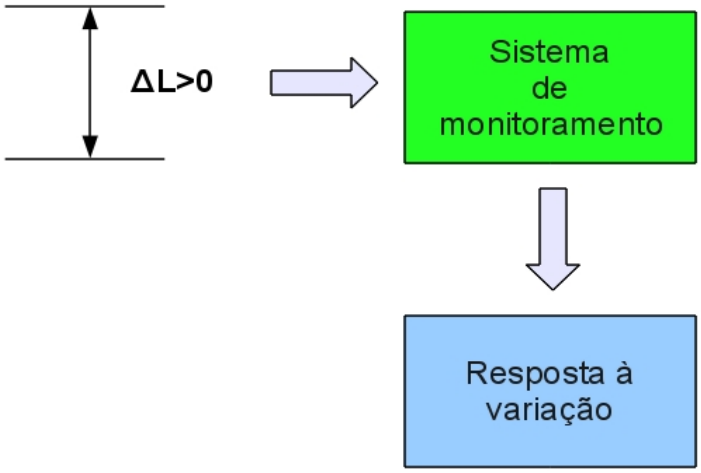


Figura 3.1: Sistema Digital de Monitoramento Sem Fio

O princípio físico para monitoramento de distensão mecânica utilizando dispositivos eletromecânicos, é utilizar a propriedade da mola helicoidal de Ti-Ni que é a geração de uma diferença de potencial elétrico quando submetida a uma distensão mecânica (ver figura 3.2).

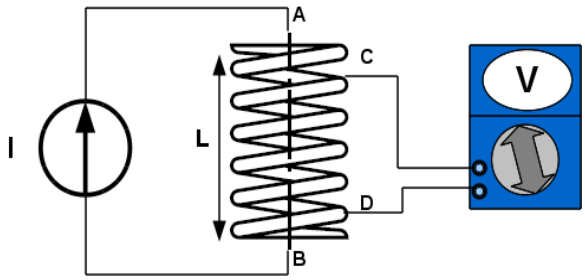


Figura 3.2: Princípio físico de geração de tensão elétrica

Os Microcontroladores terão a função de adquirir o sinal elétrico gerado na mola Ti-Ni e enviá-lo para os transmissores de rádio. Estes irão transmitir, por ondas de rádio na faixa de microondas, o sinal elétrico digitalizado para um dispositivo central receptor, acomodado num *laptop* (ou *desktop*) com o sistema operacional Linux. Esses transmissores de rádio serão implementados pela tecnologia Zigbee. O quais podem formar uma rede sem fio destinada ao controle automático (ver seção 2.3). Os dados serão gerenciados por um software em plataforma Linux cuja aquisição será feita através da porta USB (ver figura 3.3). Pode-se com a técnica usada gerenciar um considerável número de sensores devido à característica dos módulos Zigbee de se comunicar em rede (ver seção 2.3.4).

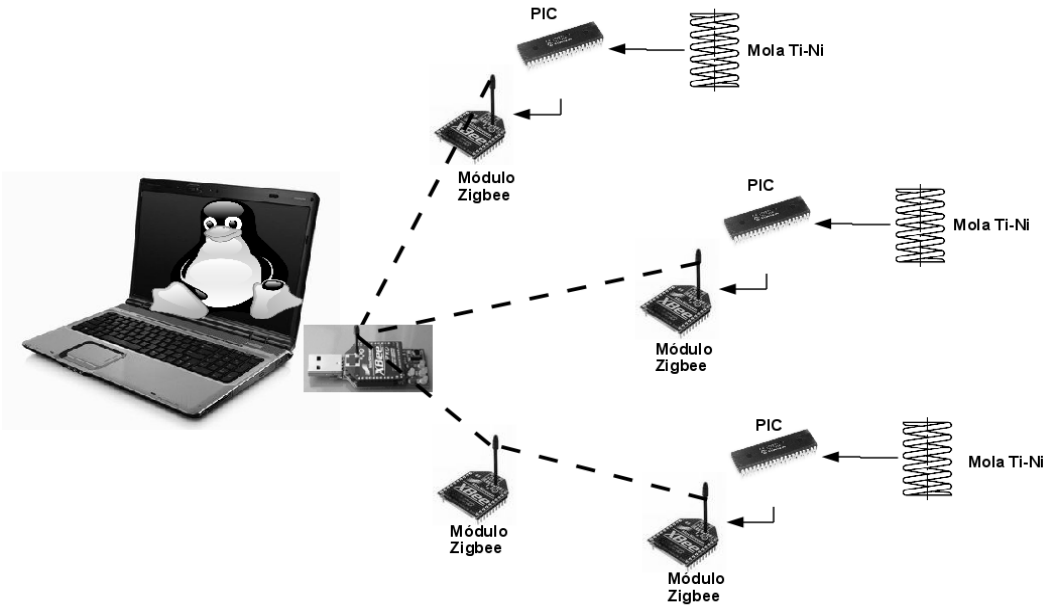


Figura 3.3: Ilustração do sistema de monitoramento sem fio

A figura 3.4 que ilustra de forma sistemática e compacta o sistema de monitoramento em rede sem fio em sua forma estrutural. Temos nesta figura o funcionamento particular de um único receptor e um único transmissor.

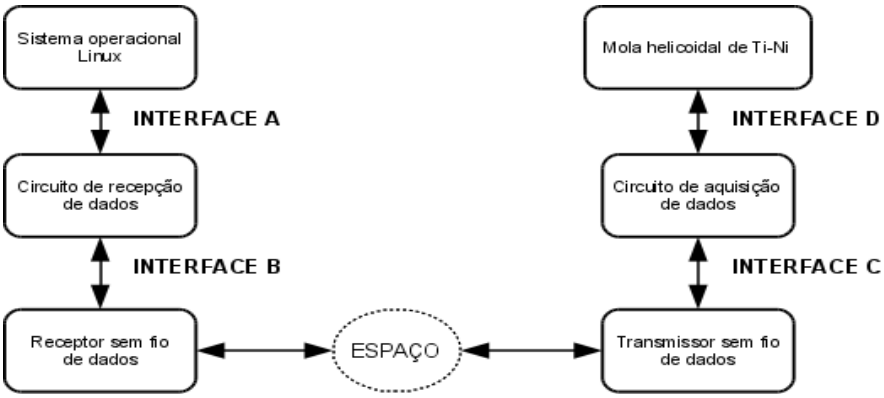


Figura 3.4: Visão geral do projeto proposto

Na parte esquerda da figura 3.4, o bloco ***Sistema Operacional Linux*** representa um software, que gerencia os dados recebidos do bloco **C*ircuito de Recepção de Dados****,* foi desenvolvido usando o sistema operacional Linux (ver seção 2.5) e a i*nterface A* afirma que será utilizado o protocolo USB para troca de dados entre os blocos (ver seção 2.4). O bloco **C*ircuito de Recepção de Dados*** tem a finalidade de adquirir os dados vindo do bloco ***Receptor Sem Fio de Dados*** e realizar o tratamento digital e enviar o dado para o bloco ***Sistema Operacional Linux****,* a *interface B* utiliza o protocolo RS-232. Já o bloco ***Receptor Sem Fio de Dados*** recebe os dados, utilizando o ar como meio físico (ver seção 2.2) de transmissão, advindos do **Sensor de Distensão Mecânica Sem fio**. Esses três blocos formam o **Sistema de Coordenação e Monitoramento Sem Fio**.

Na parte direita da figura 3.4, o bloco ***Mola Helicoidal de Ti-Ni*** emitirá sinal elétrico, de acordo com o seu estado de distensão. Ou seja este bloco funcionará como um transdutor, convertendo uma determinada distensão mecânica a um valor de tensão elétrica. A *Interface D* informa que o sinal é analógico. Por seguinte esse sinal elétrico será digitalizado através da funcionalidade do bloco ***Circuito de Aquisição de Dados.*** A *Interface C* possui a informação digitalizada do sinal elétrico. Esses dados digitais serão enviados para o bloco ***Transmissor sem Fio de***

Dados cuja função é enviar dados através de ondas eletromagnéticas para o **Sistema de Coordenação e Monitoramento Sem Fio**. Esses três blocos formam o **Sensor de Distensão Mecânica Sem Fio**.

Um determinado número de **Sensor de Distensão Mecânica Sem Fio** e o **Sistema de Coordenação e Monitoramento Sem Fio** juntos representam o **Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio**.

3.2 SENSOR DE DISTENSÃO MECÂNICA SEM FIO

Conforme já foi mencionado, o sensor irá monitorar a distensão mecânica de mola Ti-Ni, usando o princípio físico de que com a variação da distensão mecânica da mola haverá, conseguinte, a variação da tensão elétrica (ver figura 3.1).

3.2.1 Mola Helicoidal de Ti-Ni

Com a distensão mecânica da mola Ti-Ni, sua estrutura atômica é alterada (ver seção 2.6). Por sua vez a resistividade (resistência elétrica) muda. Essa propriedade física é base do nosso Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio.

Na instrumentação eletrônica não mensuramos diretamente a grandeza resistência elétrica. Ao invés disso obtemos o valor da grandeza resistência elétrica através de sua tensão usando usando a lei de Ohm como princípio físico base. Ou seja, se mantivermos uma corrente **I** constante, a variação da resistência elétrica poderá ser monitorada indiretamente através da tensão elétrica **U** (ver equação 3.1).

$$U = R * I \qquad \textit{Eq. 3.1}$$

3.2.1.1 Comportamento da tensão elétrica com a variação do comprimento L da mola Ti-Ni

O procedimento de medição, que usará a técnica de medição quatro pontos, consistirá na variação do comprimento L e o registro do valor de medição da tensão elétrica no voltímetro V para uma corrente elétrica contínua.

Para que isso fosse viável, foi montado um sistema garra-mola, que serviu para dar suporte à mola helicoidal de Ti-Ni, tornando, assim, essa variação de comprimento possível (ver figura 3.5).

A mola foi deformada diminuindo o comprimento **L** e verificou-se uma variação na tensão elétrica no voltímetro **V**, com uma corrente **I** contínua. Note que na figura 3.5, **V** representa um voltímetro, enquanto **I** uma fonte de corrente contínua.

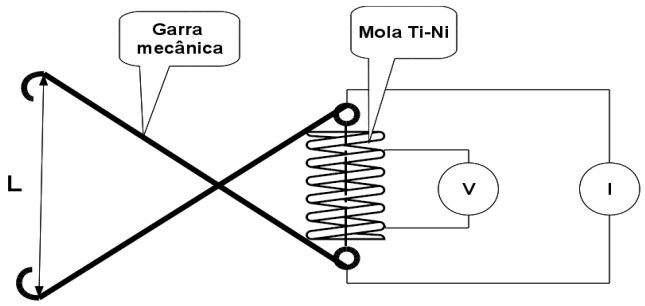


Figura 3.5: Sistema garra mecânica e mola de mola Ti-Ni

Os seguintes dados foram obtidos para uma corrente elétrica constante com intensidade **I** = 0,5A.

Tabela 3: Dados tensão elétrica em função da distância

L (cm)	**U** (V)	**δU** (V)
4.8	0.269	0.001
4.2	0.270	0.001
3.9	0.271	0.001
2.5	0.274	0.001
1	0.279	0.001

3.2.1.2 Comportamento da tensão elétrica com a variação da corrente elétrica

O objetivo desta seção é o estudo do comportamento de possíveis flutuações de corrente elétrica na fonte de corrente e sua influência nos resultados de monitoramento do Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio.

Utilizaremos o método de medição de quatro pontos. Essa técnica consiste em aplicar uma corrente elétrica constante de natureza contínua e medir a tensão elétrica nas extremidade da mola (ver figura 3.6).

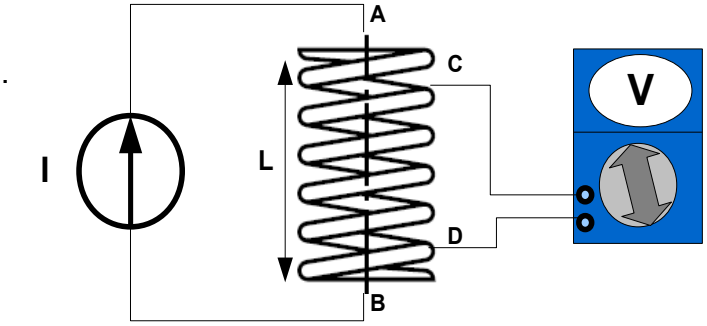


Figura 3.6: Técnica de medição quatro pontos.

Permanecendo com a estrutura montada da figura 3.5, manteremos um comprimento L constante e variaremos a corrente I e verificaremos o comportamento da tensão.

Obtemos os seguintes dados para L = 4,8cm:

Tabela 4: Dados tensão elétrica em função da corrente

I (A)	**U** (V)	**δU** (V)
0.001	0.003	0.002
0.106	0.130	0.001
0.298	0.364	0.001
0.496	0.576	0.001
0.699	0.621	0.001

Conforme pode ser visto na tabela 4, onde **I** representa a corrente elétrica, **U** representa a tensão elétrica, pequenas variações na corrente elétrica, induzem a consideráveis variações na tensão elétrica. Considerando que o Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio opera com uma fonte de corrente constante e que a tensão elétrica admitida como uma distensão mecânica é da ordem de 10 mV, chega-se a conclusão que a fonte de corrente deve possuir uma alta precisão para que assim, a mesma não induza o sistema a indicar falsos alarmes.

3.2.1.3 Comportamento estatístico da tensão elétrica

A análise do comportamento da variável tensão elétrica em função do tempo foi necessária para verificar a confiabilidade da medição, a faixa de segurança do valor medido em condições de operações, a influência de fatores externos ao sistema de medição. Mediante ao exposto, foi montado o circuito da figura 3.5.

Na verificação do comportamento da tensão elétrica, foi considerado o ponto de operação do circuito com uma corrente **I** de 0,5 A e comprimento **L** da mola Ti-Ni de 4,8 cm. O tempo de análise foi de dois dias consecutivos num tempo de amostragem de 0,1s, resultando em trinta e seis mil medições. O circuito foi analisado sob condições de temperatura e pressão normais. A discussão dos resultados estão na seção 4.1.3 .

3.2.2 Circuito de Aquisição de Dados

Como se trata de um dispositivo programável, dividiremos esta próxima seção no tópico em que se fala sobre a montagem do circuito elétrico (entendendo o hardware) e outro tópico em que se explica o funcionamento do algoritmo do programa (entendendo o software).

3.2.2.1 Entendendo o hardware

Nesta seção compreenderemos as principais partes do Circuito de Aquisição de Dados sob uma perspectiva dos dispositivos elétricos/eletrônicos que compõem o projeto, ou seja, enfocaremos na explicação do sistema de hardware.

3.2.2.1.1 Visão geral do circuito de aquisição de dados

O Circuito de Aquisição de Dados irá amplificar o sinal, advindos da mola helicoidal de Ti-Ni (transdutor conforme figura 3.7), por um fator que se adéque à resolução do módulo de conversão analógica/digital do microcontrolador para a aquisição de dados. Os dados serão interpretados de acordo com o algoritmo aqui sugerido (ver seção Erro: Origem da referência não encontrada).

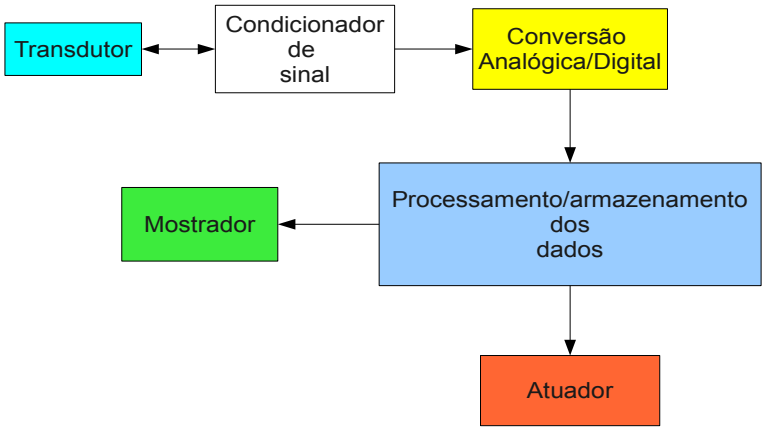


Figura 3.7: Visão geral do circuito de aquisição de dados

3.2.2.1.2 Esquema elétrico

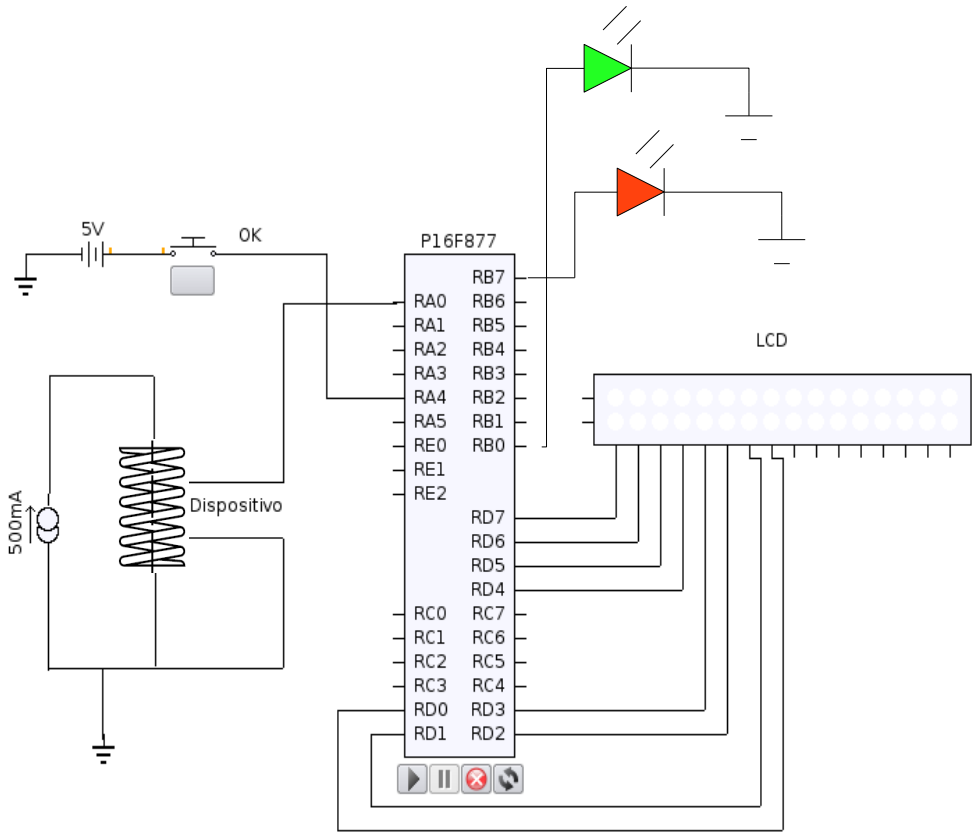


Figura 3.8: Esquema elétrico do Circuito de Aquisição de Dados

Conforme pode ser observado na figura 3.8, foram utilizado os seguintes dispositivos neste projeto :

- PIC16F877A;
- LCD (Mostrador de Cristal Líquido);
- Fonte de corrente (que será projetada);
- Transistor TIP122, para fonte de corrente;
- LEDs;
- Resistores;
- Mola helicoidal de Ti-Ni.

O Circuito Aquisição de Dados (ver figura 3.8) possui como componentes essenciais os seguintes dispositivos elétricos: PIC16F877A, LCD 16X2, fonte de corrente, mola de Ti-Ni.

O microcontrolador será o PIC16F877A, cuja função será de converter os dados analógicos para dados digitais. Os dados digitais, após convertidos, serão monitorados. Caso esses dados ultrapassem um valor predeterminado, o PIC16F877A acenderá o LED verde.

O LCD indicará se houve realmente uma distensão mecânica.

3.2.2.1.3 Transdutor

A mola de Ti-Ni assume o papel de transdutor de distensão mecânica para sinal elétrico (ver seção 3.2.1.1).

3.2.2.1.4 Condicionador de sinal

O estágio de condicionamento de sinal é o estágio de amplificação que é (ver figura 3.7) necessário em todo projeto de aquisição de dados por oferecer ao sinal elétrico, advindos dos transdutores, um aumento de intensidade por um fator k como na equação 3.2 [3].

$$V_{Saída} = k * V_{Entrada} \qquad \textit{Eq. 3.2}$$

A simples amplificação (como observado na equação 3.2), geralmente usando um amplificador operacional, não é suficiente para certas aplicações na instrumentação eletrônica. Alguns setores exigem alta imunidade a ruídos nas informações, como é caso na instrumentação hospitalar, tomografia, eletrocardiograma, eletroencefalograma, etc … Neste tipo de aplicação utiliza-se, nesse estágio, amplificadores de instrumentação (AI) [3].

É de extrema importância a utilização de amplificadores de instrumentação, ou amplificadores diferenciais, na aquisição de dados. O uso destes tipo de amplificadores, é justificado pelo fato de constantes ruídos e interferência eletromagnética, chamados de sinais em modo comum, causarem sérias pertubações na aquisição. A confiabilidade desta técnica é assegurada pelo fato de que o sinal de entrada é subtraído por um sinal de referência. Caso um sinal de ruído seja acrescentado no sistema de medição, ele será subtraído dele mesmo, sendo, portanto, apenas o sinal desejado amplificado (ver figura 3.9).

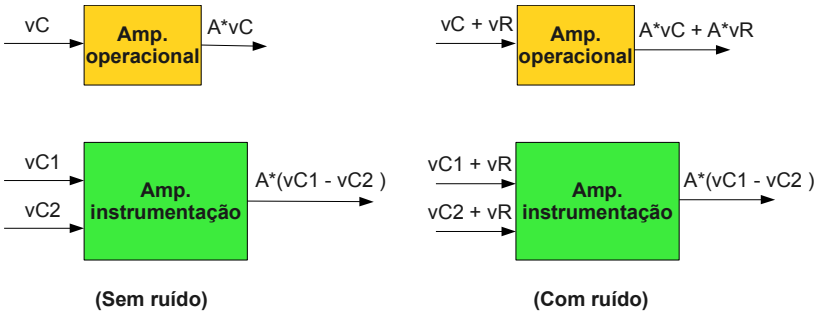


Figura 3.9: Amplificadores operacionais e amplificadores de instrumentação.

Note na figura 3.9 que ao se aplicar um sinal vC na entrada de amplificador operacional teremos um ganho A na saída. Caso um sinal de ruído vR influencie na entrada do amplificador operacional, tanto o sinal vC quanto sinal vR serão amplificados.

O amplificador de instrumentação surge como uma técnica que elimina de forma diferencial o sinal de ruído vR. Ou seja se o sinal vR em modo comum surgir nas entradas, a subtração da entrada fará com que o sinal de ruído seja eliminado (ver figura 3.9).

3.2.2.1.5 Conversão analógica/digital e Processamento/armazenamento dos dados

Este dois blocos podem ser executados por um único dispositivo eletrônico chamado PIC16F877A (ver seção 2.7).

A aquisição dos dados foi feitas com as seguintes configurações:

- Resolução de 10 bits com a tensão elétrica de referência sendo os 5V da própria fonte alimentação;

- Justificado à esquerda, considerando, assim, apenas o registrador ADRESH como fonte de dados digitais no programa;

- Tempo de aquisição de dados é de 0,5 μs;

- Canal de aquisição PORTA,0, sendo esta porta configurada com entrada analógica enquanto o restante sendo entrada/saída digital;

- O erro absoluto associado à conversão analógica/digital é menor ou igual à resolução do sistema que é de 0,019607843 V.

3.2.2.1.6 Mostrador

Neste estágio é uma interface homem – máquina que mostra o estado, os dados adquiridos, que tipo de atuação foi tomada, etc...

Implementamos este bloco com um d*isplay LCD* de 16 colunas e duas linhas.

3.2.2.1.7 Atuador

Quando o circuito chegar num estado que exija atuação de uma determinada tarefa, sua atribuição no projeto será acender um determinado LED (*Light Emission Diode*).

O circuito quando ligado acenderá um LED vermelho, indicando que o sistema está em monitoramento.

Quando for detectado a distensão mecânica da mola de Ti-Ni (transdutor), o Circuito de Aquisição de Dados atuará acendendo um LED verde.

3.2.2.1.8 Fonte de corrente

Para monitoramento da distensão mecânica da mola Ti-Ni, foi utilizado um espelho de corrente que funcionou como fonte de corrente, para que com a fonte a mola pudesse ser com dois transistores modelo TIP 122 o qual suporta uma corrente de no máximo 5 A.

A corrente necessária para que o dispositivo entre no estado de operacionalidade é de 0,5 ª

3.2.2.2 Entendendo o software

Conforme já foi mencionado em seções anteriores, o Circuito de Aquisição possui um dispositivo micro-controlado, portanto é de se esperar que exista um algoritmo que irá atuar neste dispositivo para que exerça sua funcionalidade.

Nessas próximas seções explicaremos as principais partes do algoritmo que compõe o software do Circuito de aquisição de dados.

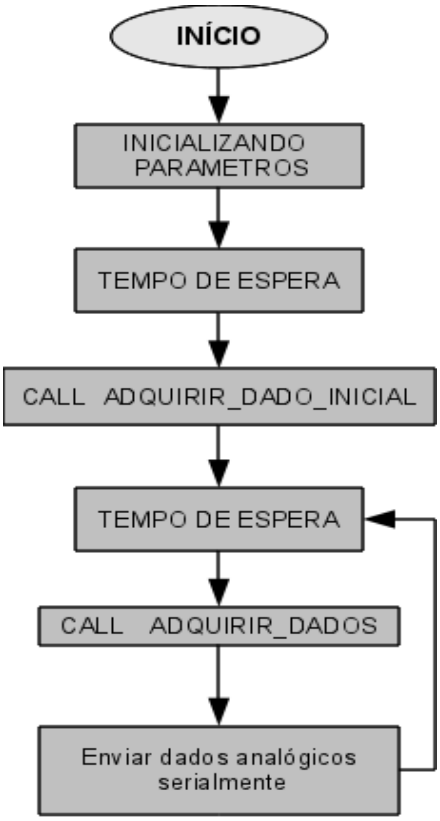


Figura 3.10: Rotina principal do software

A funcionalidade principal da rotina (ver figura 3.10) consiste nas inicializações de parâmetros, sendo estas configurações inerentes a configurações de entradas e saídas, módulo de conversão analógica digital, constantes do programas e outros. De inicio temos uma rotina de TEMPO DE ESPERA que consiste em deixar que o transdutor mola helicoidal de Ti-Ni estabilize. Em seguida virá a função AQUISIÇÃO_DADO_INICIAL que armazenará o primeiro valor da intensidade de tensão do transdutor. Depois da rotina de TEMPO DE ESPERA, o sistema fará frequentemente uma segunda aquisição através da função ADQUIRIR_DADOS que monitorará se houve uma diferença de valor na intensidade da tensão inicial armazenada na rotina AQUISIÇÃO_DADO_INICIAL.

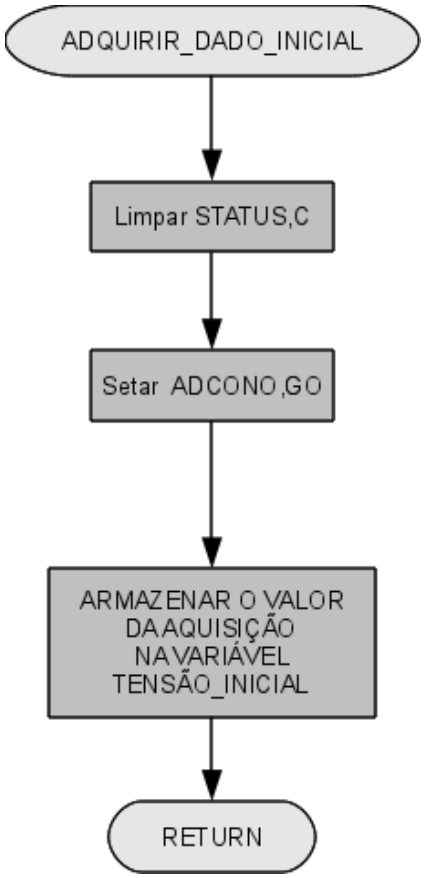


Figura 3.11: Rotina ADQUIRIR_DADO_INICIAL

A rotina ADQUIRIR_DADO_INICIAL possui a função de fazer uma primeira amostragem do valor da tensão elétrica inicial (ver figura 3.11). É através deste primeira amostra que o sistema terá um referencial, sendo assim, qualquer variação do valor inicial obrigará o Circuito de Aquisição de Dados a tomar uma decisão.

Uma outra rotina, cujo algoritmo é a base do Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio, é uma rotina de validação de variação de tensão elétrica (ver figura 3.12). Seu princípio de funcionamento consiste na verificação da variação do valor da tensão elétrica inicial. Caso seja constatada uma variação, o Circuito de Aquisição de Dados certificará se não foi um ruído solicitando um tempo de espera e mais uma verificação, caso note uma confirmação na variação da tensão elétrica, solicitará o último aval. Desta vez, se positivo, o circuito acionará um atuador. Por outro lado, se for negativo o sistema retornará para rotina principal. Podemos

chamar estas etapas da rotina de filtro por software. Pois estes procedimentos contornam a variação espúria da tensão elétrica.

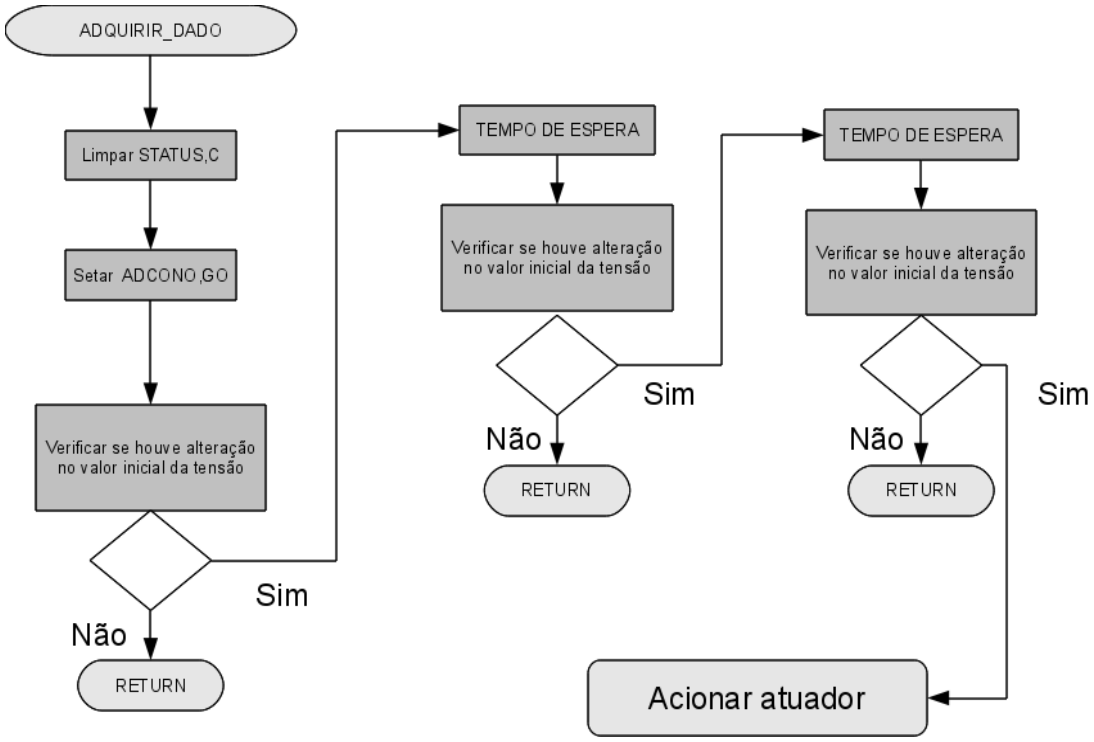


Figura 3.12: Rotina ADQUIRIR_DADO

3.2.3 Transmissor Sem Fio de Dados

O Transmissor Sem Fio de Dados é responsável por receber os sinais analógicos advindos do Circuito de Aquisição de Dados e enviá-los para o sistema de Coordenação e Monitoramento Sem Fio usando o espaço como meio físico. O sinal analógico é recebido pelo Transmissor Sem Fio de Dados pelo intermédio de uma rotina de enviar dados na serial, implementada no software do Circuito Aquisição de Dados (ver figura 3.10). Essa intermediação está fisicamente ligada através da conexão do PORTC,6 do microcontrolador, PIC16F877A e o pino 3 do módulo Zigbee.

O módulo Zigbee irá desempenhar a função de transmissor. Pois é uma tecnologia que está criando maiores expectativas devido sua eficiência na utilização de energia (ver seção 2.3.6) e por ter a grande vantagem de introduzir vários Sensores de Distensão Mecânica sem que cause dano à comunicação com o sistema de Coordenação e Monitoramento Sem fio (ver seção 2.3.4). Ou seja, se no projeto inicial for utilizado um determinado número de molas Ti-Ni para serem monitorada e desejar-se aumentar este número, o sistema será capaz de introduzir um novo membro que receberá automaticamente uma identificação na rede.

O fabricante do modulo Zigbee usado na proposição do projeto foi o da DIGI INTERNATIONAL, cujo modelo é o Xbee Pro ZB [19].

Neste trabalho foi adotado a topologia estrela (ver figura 3.3). Os dados serão enviados em intervalos de um segundo (ver seção 2.3.4).

3.3 SISTEMA DE COORDENAÇÃO E MONITORAMENTO SEM FIO

3.3.1 Bloco Sistema Operacional Linux

A função de um pesquisador que trabalha na área de engenharia está em obter meios técnicos que possam trazer à sociedade benefícios que reflitam numa melhoria substancial na vida do seres vivos, de forma, que tais soluções concretizadas sejam acessíveis à maioria da população.

Como procuramos nos focalizar em soluções de baixos custos, mas não isentando da qualidade técnica oferecida, usamos o sistema operacional Linux Ubuntu (ver seção 2.5.1) o qual tem se mostrado no decorrer do tempo um sistema que está ganhando espaço no meio de grandes empresas [34], por se tratar de um sistema operacional no qual podemos ter confiabilidade técnica, podendo sua estrutura de kernel ser alterada livremente, e a desobrigação de licenças para uso.

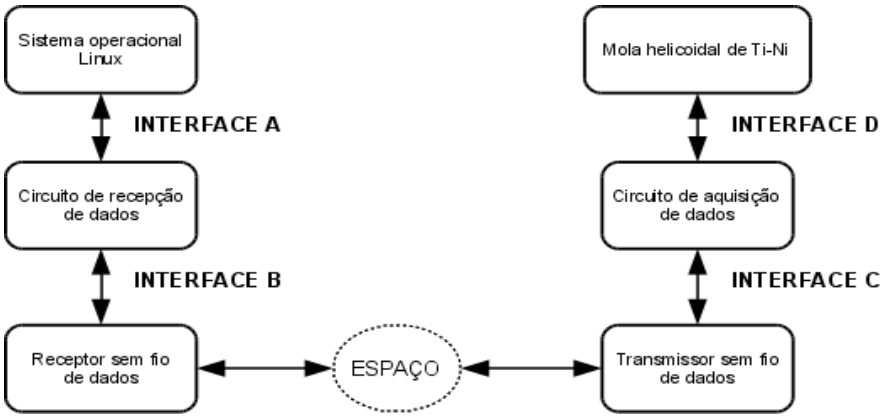


Figura 3.13: Visão geral do projeto proposto

Observamos na figura 3.13, na parte esquerda superior, o sistema operacional Linux, integrado com o software criado neste trabalho, terá a função de coordenar todo o Sistema de Instrumentação Digital Sem Fio. Sendo a entidade responsável por integrar todos os blocos a uma operação lógica central determinado pelo algoritmo aqui proposto.

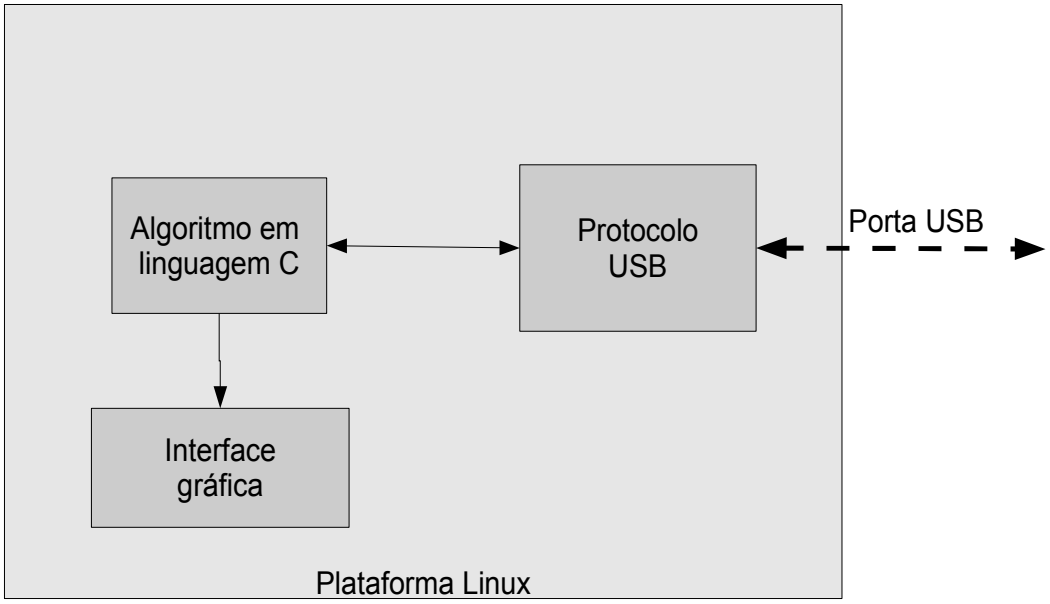


Figura 3.14: Ilustração do funcionamento do bloco sistema operacional Linux

A figura 3.14 ilustra a estrutura composta no bloco sistema operacional Linux. O algoritmo de gerenciamento de dados foi implementado na linguagem de programação C. Por seguinte esse algoritmo de programação possui, em sua estrutura, a propriedade de usar o protocolo de comunicação USB (ver seção 2.4) para se comunicar através da porta USB com o bloco *Circuito de Recepção de Dados*. Todas essas atividade de dados será monitorada por uma interface gráfica utilizando o software *GLADE* (ver seção 2.5.3). Todos estarão sob o gerenciamento da plataforma do sistema operacional Linux.

3.3.1.1 Algoritmo de programação em Linguagem C

Dentro do bloco do *Sistema Operacional Linux*, o algoritmo implementado em linguagem C, possui o papel de gerenciar os dados vindos do bloco *Circuito de Recepção de Dados*.

Sua função consiste em:

- Solicitar informação da intensidade elétrica das molas de Ti-Ni;

- Usar o protocolo USB para interagir com o bloco *Circuito de Recepção de Dados;*

- Utilizar uma interface homem-máquina para que o usuário tenha conhecimento do estado atual de monitoramento.

- Visualizar os dados advindos da mola Ti-Ni e armazenar estes dados em arquivos.

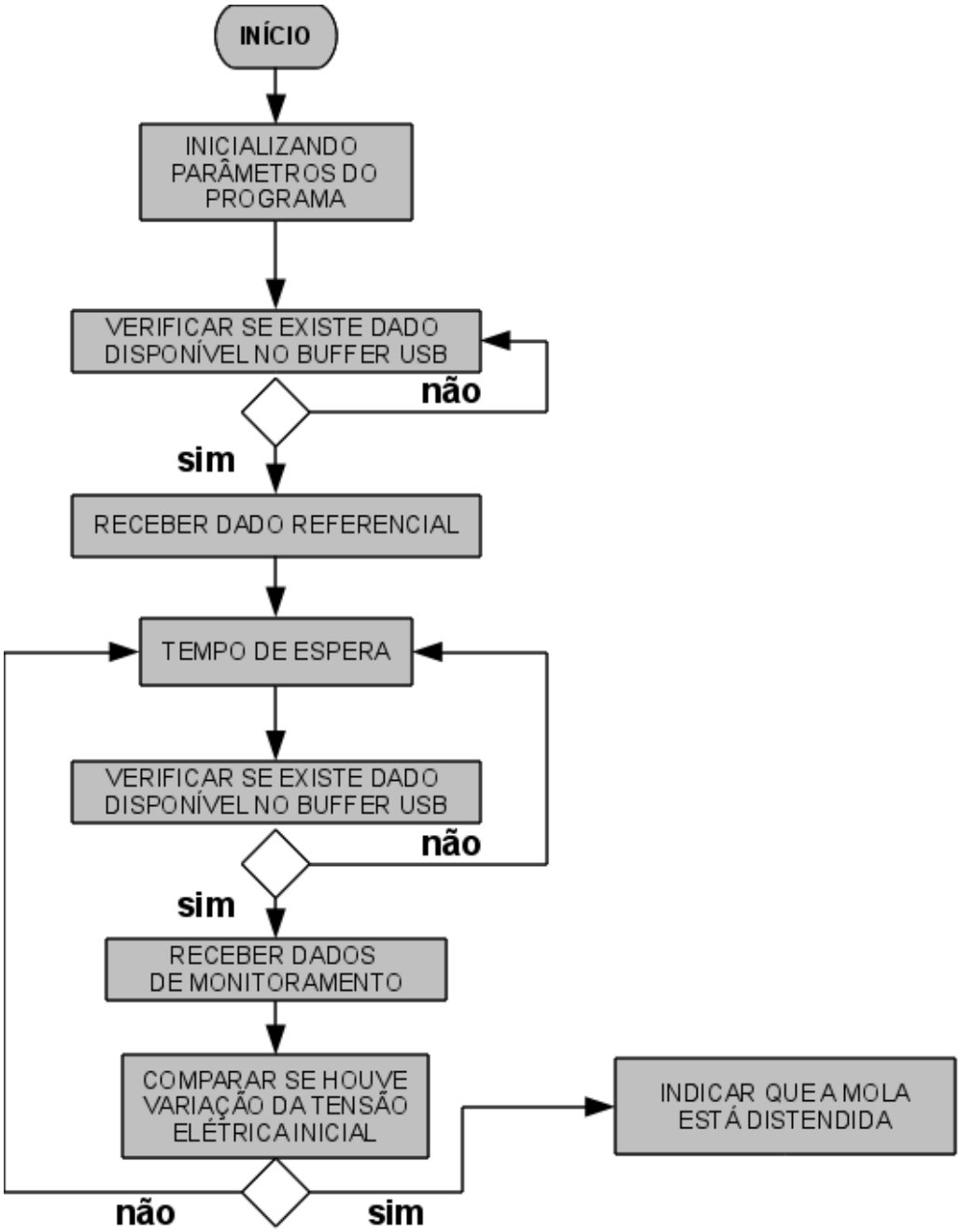


Figura 3.15: Algoritmo do Bloco Sistema Operacional Linux

A ideia do algoritmo do bloco Sistema Operacional Linux (ver figura 3.15) consiste em fazer um ajustamento de parâmetro através da rotina. Inicializando parâmetros do programa que habilita, no kernel do sistema operacional, a comunicação com a USB. Após um instante determinado via software, será verificado a disponibilidade de dado no barramento serial universal (USB). Caso não

haja disponibilidade, esperará até que se tenha dados disponíveis. Confirmados os dados no barramento serial universal, será recebido o Dado Referencial. Esse dado é vindo do Circuito de Recepção de Dados o que estabelecerá uma comunicação como Bloco Sistema Operacional Linux por meio do barramento serial universal (USB). Esse dado será considerado fixo a partir deste momento. Será feita uma nova verificação de disponibilidade de dado no barramento. Dados de Monitoramento são dados que indicarão se o Dado Referencial foi variado de uma determinada faixa. Caso for constatado a variação consequentemente será indicado através do software que a mola de TI-NI está distendida mecanicamente.

3.3.2 Circuito de Recepção de Dados

Este circuito é responsável por integrar o Sistema Operacional Linux com os dados analógicos advindos do Receptor Sem Fio de Dados, através da porta USB, porta pela qual será realizada toda a comunicação entre os blocos.

O circuito é um projeto da RogerCom chamado CON-USBBEE (ver figura 3.16). O mesmo é dotado de chip conversor USB/Serial, regulador de tensão, comparador de tensão conectados aos LEDs (RSSI) que simulam a intensidade do sinal de rádio frequência, LEDs de indicação de transmissão e recepção de dados e um botão com a finalidade de inicializar o módulo Xbee. Neste trabalho o projeto da RogerCom representa o Circuito de Recepção de Dados.

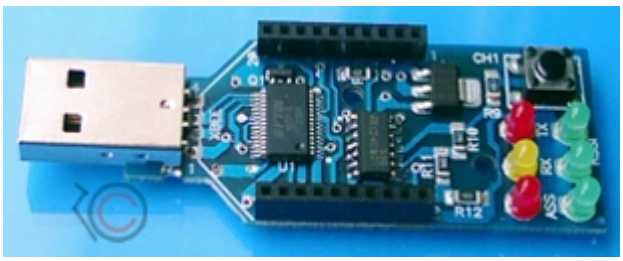


Figura 3.16: Projeto da Rogercom CON-USBEE

O *Circuito de Recepção de Dados* é capaz de converter a comunicação de dados serialmente recepcionado do *Receptor Sem Fio de Dados* e convertê-los em

protocolo USB virtualmente. Isso quer dizer que o circuito cria no *Sistema Operacional Linux* uma porta de comunicação virtual a qual disponibiliza uma ponte de comunicação entre comunicação seria e comunicação USB.

3.3.3 Receptor Sem Fio de Dados

Os dados provenientes do Sensor de Distensão Mecânica serão recepcionados pelo o Receptor Sem Fio de Dados. De fato este circuito atuará acoplado com o Circuito de Recepção de Dados. Sendo esta interação responsável por receber o dados via ondas eletromagnéticas e enviá-los para o bloco *Circuito de Recepção de Dados (*ver figura 3.17).

A característica deste bloco é utilizar a tecnologia zigbee utilizando o módulo XBEE-PRO ZB.

Configuramos os módulos para assumir o papel de Coordenador da rede (ver seção 2.3.2.2). Para que ele seja responsável por solicitar os dados que contém a informação do estado da mola Ti-Ni.

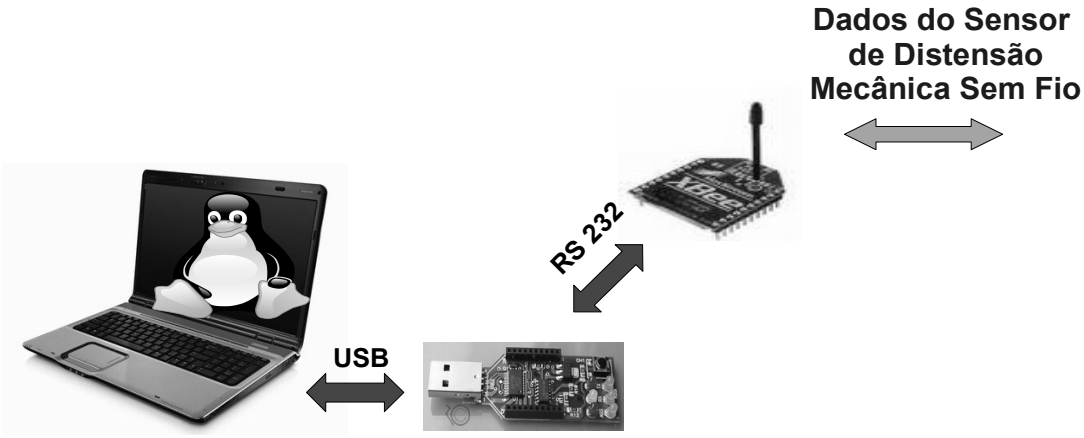


Figura 3.17: Receptor Sem Fio de Dados

3.4 CONSIDERAÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO

Nesta seção justificaremos o processo de medição dos resultados que serão expostos na seção 4 . Com isso estaremos apresentando conceitos importantes de instrumentação adotados nesse trabalho, cujo fim é a obtenção do valor da grandeza especificada.

3.4.1 Procedimento de medição

Foi adotada a técnica de medição de quatro pontos. O PIC16F877A fará a conversão de dado analógico para digital da tensão elétrica constante entre os pontos C e D.

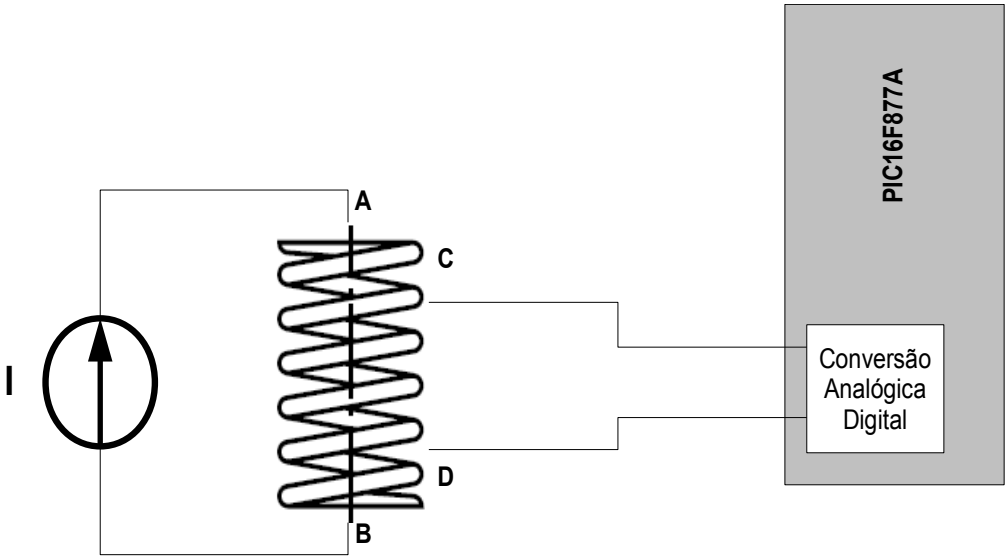


Figura 3.18: Técnica de medição de quatro pontos com PIC16F877A

A grandeza física será obtida pela conversão analógica digital do PIC16F877A (ver figura 3.18) que em seguida transmitirá os dados para o Transmissor Sem Fio de Dados. Cuja função é estabelecer a comunicação de dados sem fio entre o SENSOR DE DISTENSÃO MECÂNICA e o SISTEMA DE

COORDENAÇÃO E MONITORAMENTO SEM FIO. Note que essa etapa de comunicação sem fio não está exposta na figura 3.18.

3.4.2 Identificação da variável

A grandeza física de monitoramento será a tensão elétrica entre os pontos C e D que é representada pela variável $\mathbf{U_{CD}}$.

A resistência da mola para um estado mecânico permanente pela variável $\mathbf{R_{MOLA}}$.

A resistência de entrada do PIC16F877A é representada pela variável $\mathbf{R_{PIC}}$.

A corrente elétrica da fonte é representada pela variável **I**.

3.4.3 Princípio físico de medição

O fundamento físico adotado para o procedimento de medição consiste na lei de Ohm ver eq 3.3.

$$U = R * I \qquad \textit{Eq. 3.3}$$

3.4.4 Identificação dos erros sistemáticos

3.4.4.1 Efeito de carga

A figura 3.18 pode ser refeita com a perspectiva do esquema elétrico.

O procedimento é calcular a tensão elétrica entre os pontos C e D sem o efeito do PIC16F877A. Em seguida fazer obter a tensão nos pontos mencionados levando em consideração o efeito de carga do PIC16F877A.

Primeira consideração sem o efeito de carga do PIC16F877A (ver figura 3.19). A resistência R_a tem a função de divisor de tensão elétrica.

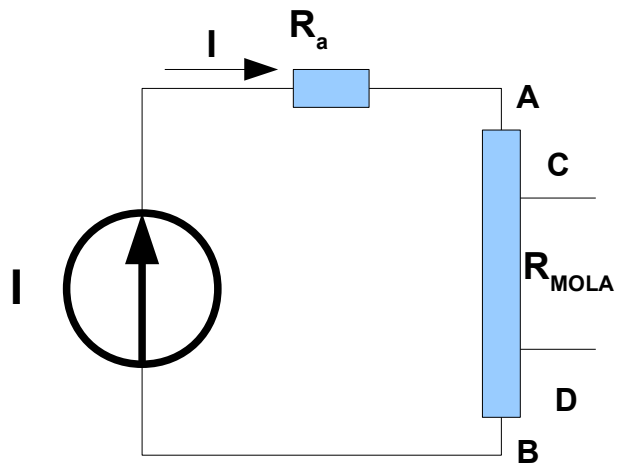


Figura 3.19: Circuito elétrico sem o efeito do PIC16F877A

$$U_{CD} = U_{AB} = I\ R_{MOLA} \tag{3.4}$$

Na equação 3.4 U_{CD} representa o valor verdadeiro da tensão elétrica entre os pontos C e D da mola helicoidal de Ti-Ni observado na figura 3.19.

Segunda consideração com efeito de carga do PIC16F877A.

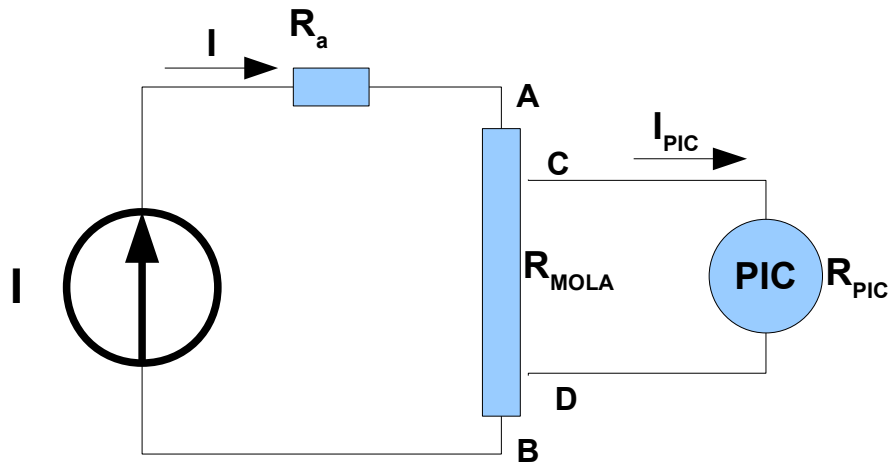


Figura 3.20: Cálculo considerando efeito de carga

$$U'_{CD} = I\left(\frac{R_{MOLA}\,R_{PIC}}{R_{MOLA} + R_{PIC}}\right) \qquad (3.5)$$

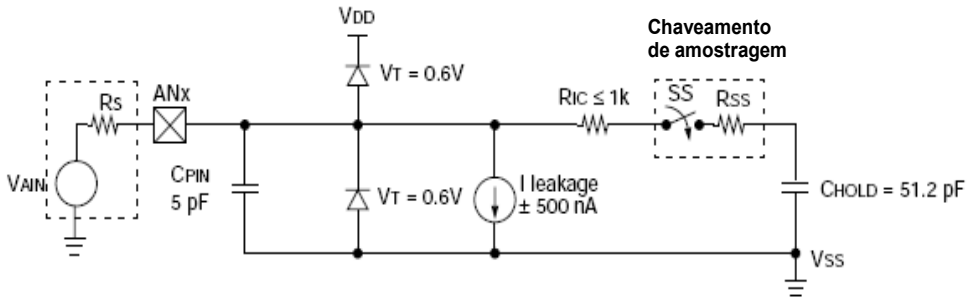
U'_{CD} representa o valor da tensão elétrica considerando o efeito de carga. Então o erro relativo por efeito de carga pode ser calculado da seguinte forma:

$$\varepsilon_{carga} = \frac{U_{CD} - U'_{CD}}{U'_{CD}} = \frac{R_{MOLA}}{R_{PIC}} \qquad (3.6)$$

A equação 3.6 representa o erro considerando o efeito de carga.

3.4.4.1.1 Cálculo de RPIC , resistência de entrada do PIC16F877A

O modelo da entrada analógica do PIC16F877A pode ser visto na figura 3.21.



C_{PIN}	**Capacitância de entrada**
$I_{leakage}$	**Corrente de fuga devido a junção do pino**
V_T	**Tensão limiar**
R_{IC}	**Resistência de interconexão**
R_{SS}	**Resistência de chaveamento de amostragem**
C_{HOLD}	**Capacitância de aquisição**
V_{AIN}	**Tensão para aquisição**

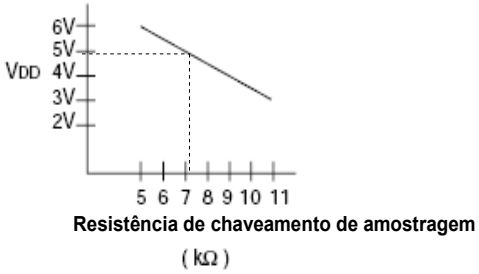


Figura 3.21: Modelo da entrada analógica do PIC16F877A

Observe que na figura 3.21 que V_{AIN} é a tensão de monitoramento o qual é representada neste trabalho por U_{CD}. A variável R_S representa a resistência de entrada da tensão de monitoramento. Esta resistência deve ser menor ou igual a 10 kΩ. A variável SS indica o chaveamento da amostra de interesse. Ou seja, como nosso PIC16F877A é capaz de converter sete entradas analógicas em dados digitais, SS representa a chave seletora do canal de interesse (ver seção 2.7).

Dado que a tensão de monitoramento U_{CD} é constante, leva-nos a afirmar que o capacitor C_{HOLD} estará aberto (ver figura 3.21). Estando este capacitor aberto a resistência de entrada é infinita. Com isso, o erro relativo devido à carga é zero (ver equação 3.7).

$$\varepsilon_{carga} = \frac{R_{MOLA}}{R_{PIC} \to \infty} = 0 \qquad (3.7)$$

3.4.4.2 Intrínseco do Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio

A fonte de erro intrínseca do instrumento é proveniente do bloco *Circuito de Aquisição de Dados*. Neste bloco a tecnologia implementada, como já foi visto, é formada em sua base pelo microcontrolador PIC16F877A.

O PIC16F877A, bem como as outras famílias de microcontroladores de 8 bits da microchip, possui erros inerentes ao módulo de conversão de dados analógicos em digitais [45]. Ou em outras palavras, o conversor A/D ao fazer a amostragem do sinal analógico converterá a amostra em um código digital. Esse código digital possui certos desvios de um código considerado ideal, ou seja, um código que foi convertido numa conversão de dados A/D considerada perfeita. Esses desvios são os erros de códigos. Definiremos os erros mais relevantes na conversão de dados nas seções seguintes.

3.4.4.2.1 Erro de quantização do código

Para um certa faixa do sinal analógico na entrada, o código permanecerá invariável.

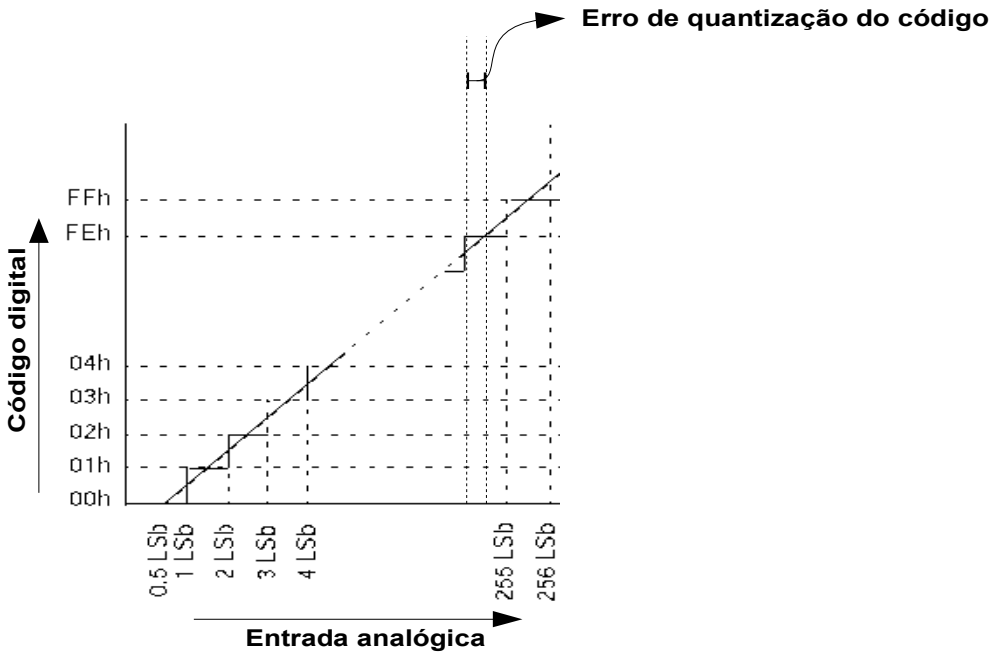


Figura 3.22: Função de transferência - Erro de quantização do código

Observe na figura 3.22 que o gráfico representa a função de transferência de conversão onde o eixo da ordenada representa o código digital enquanto o eixo da abcissa representa a entrada analógica em medidas LSb – Lower Significative bit. O 1 LSb pode ser entendido como (1/1024) V_{REF}. A tensão de referência V_{REF} é a tensão base para conversões. Sua máxima intensidade é de 5 V. Note que na figura 3.22 que o erro de quantização do código é ½ Lsb.

Nosso trabalho é considerado uma tensão de referência de 5V. Portanto nosso erro de quantização do código é de (1/2) (1/1024) 5 V. Em outras palavras, o erro mencionado fica em torno de 2 mV.

A forma de melhorar o erro é melhorar a resolução do conversor A/D.

3.4.4.2.2 Erro de Offset do código

É o desvio entre o código atual e o código ideal que é uniforme em toda a função de transferência da conversão A/D. Ou seja, esse erro é adicionado em todas os códigos convertidos constantemente. Isso se traduz na função de transferência um deslocamento paralelo da curva ideal (ver figura 3.23).

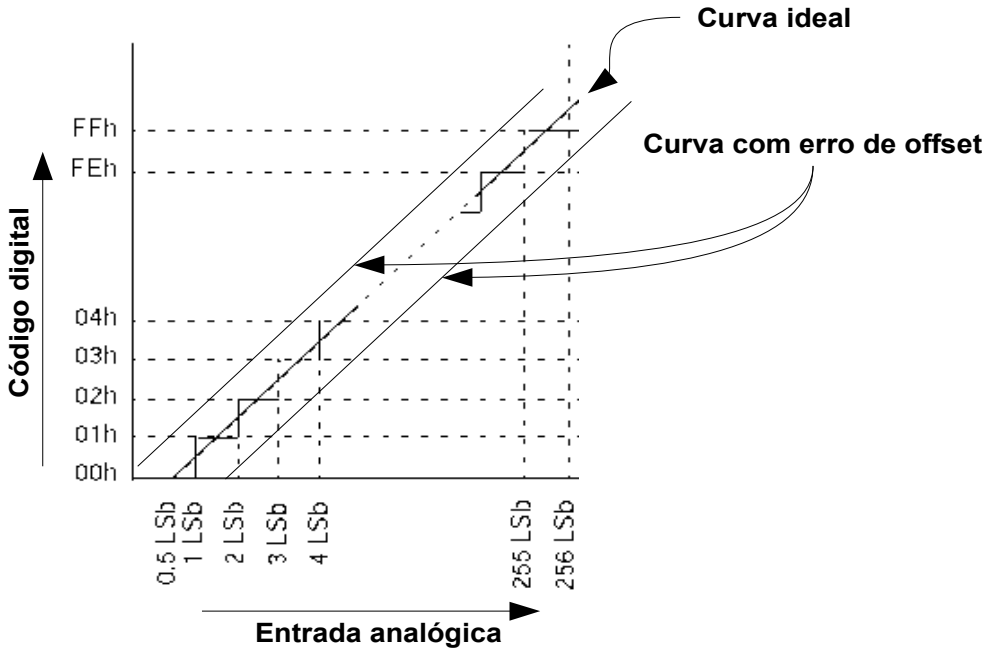


Figura 3.23: Função de transferência - erro de offset do código

Esse erro pode ser ajustado na fonte de entrada através de um resistor em série.

3.4.4.2.3 Erro de ganho do código

É a diferença máxima entre o última transição do código atual e a última transição do código ideal, isso após o ajuste do erro de offset. Esse erro é notado como uma variação do coeficiente angular na curva de transferência (ver figura 3.24).

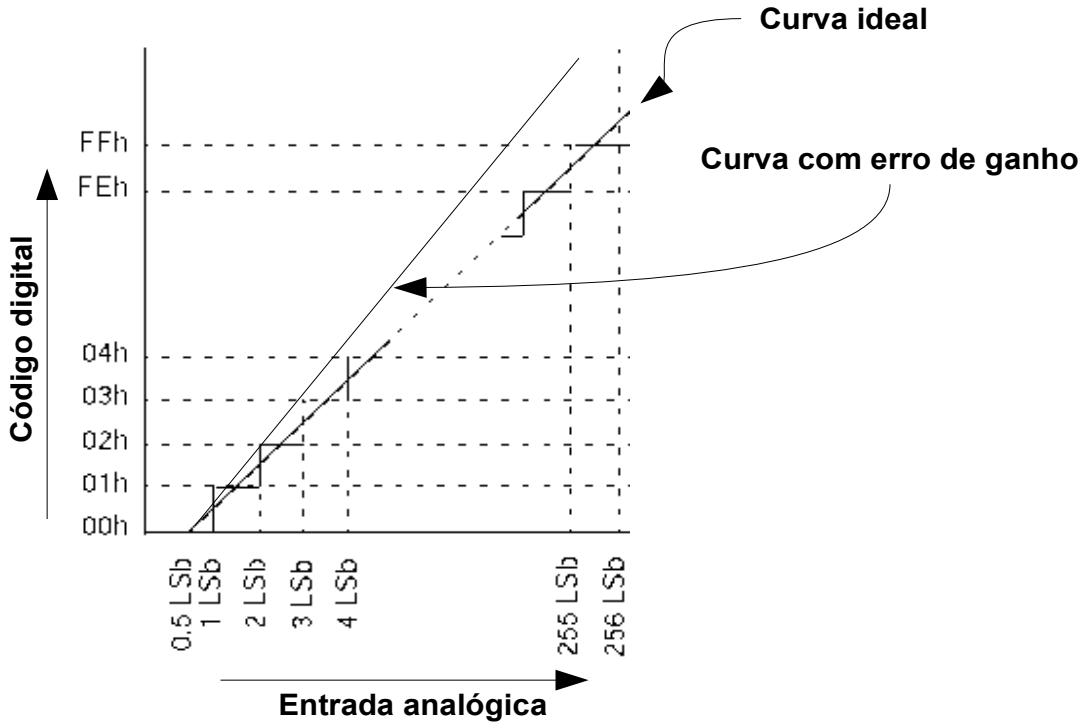


Figura 3.24: Função de transferência - erro de ganho do código

3.4.4.2.4 Erro absoluto

É o desvio máximo que a transição do código atual pode possuir da transição do código ideal. Esse erro leva em consideração todas as contribuições dos erros já mencionados aqui e não é maior que 1 LSb, ou seja, para as condições já mencionadas 4 mV.

3.4.4.3 Erro por variação de V_{REF}

Esse tipo de erro não pode ser considerado intrínseco ao sistema já que o mesmo pode ser evitado. É definido como erro ocasionado para variações na tensão de referência V_{REF} devido a má projeção de uma tensão constante.

Esse erro pode ser considerado analogamente a um efeito de sanfonamento na função de transferência.

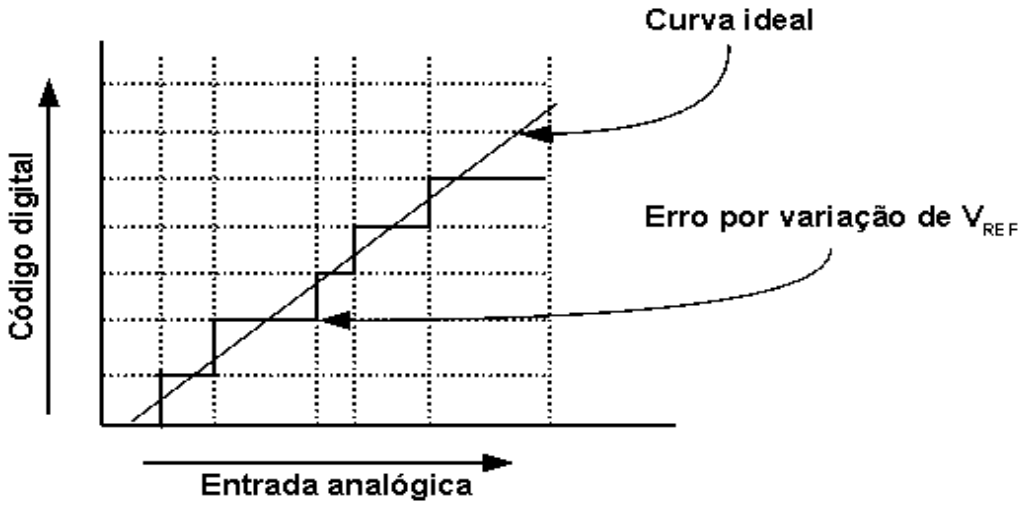


Figura 3.25: Função de transferência - erro por variação de V_{REF}

Perceba a figura 3.25 que existe uma variação na resolução de conversão A/D na função de transferência.

3.5 CONSIDERAÇÕES DA METODOLOGIA

A metodologia adotada como base no desenvolvimento deste trabalho apresentou uma organização bastante proveitosa, levando, assim, ao objetivo esperado que foi propor um algoritmo de análise e uma metodologia de instrumentação sem fio com a técnica de medição quatro pontos e assim observar os tipos de erros consideráveis e introduzidos no sistema de medição. Portanto os resultados desta metodologia será apresentado no próximo capítulo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MOLA HELICOIDAL DE TI-NI

Conforme metodologia adotada na seção 3.2.1 , analisaremos os dados coletados das seguintes subseções.

4.1.1 Comportamento da Tensão elétrica com a variação do comprimento L da mola Ti-Ni

Os dados da tabela 3 foram representados na curva tensão-comprimento na figura 4.1.

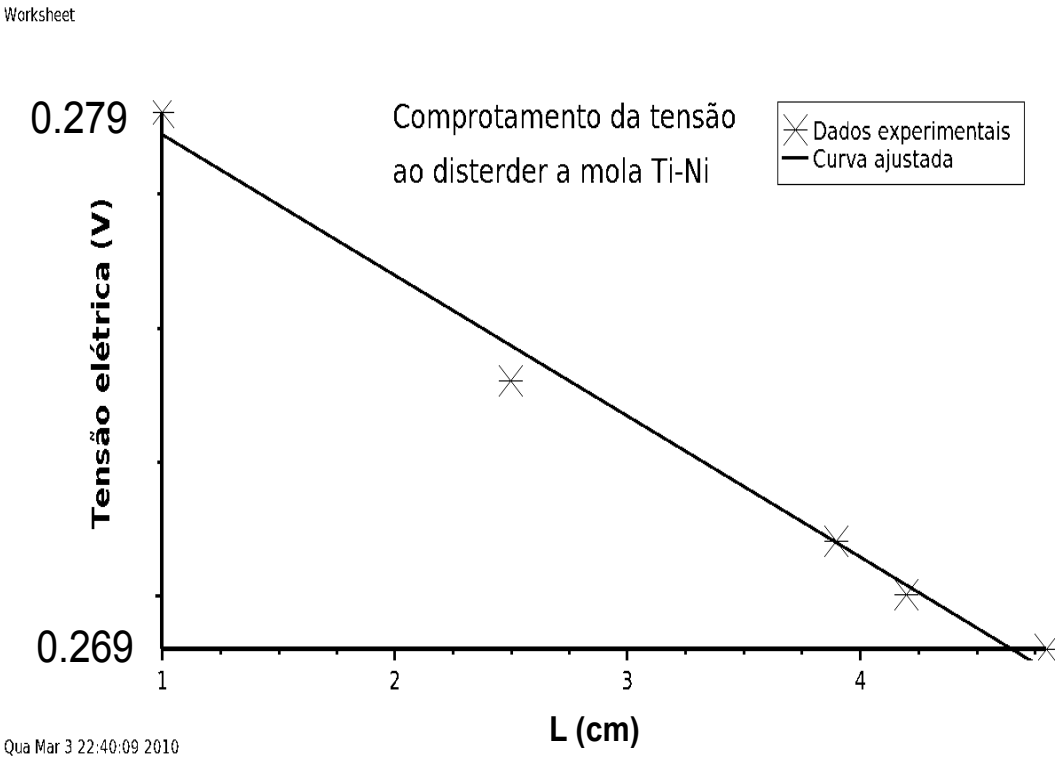


Figura 4.1: Comportamento da tensão elétrica com a distensão mecânica da mola Ti-Ni

É observado na figura 4.1 que aos distendermos a mola (ou seja, ao diminuirmos L, distendemos a mola helicoidal) notamos que a tensão elétrica aumentará com o aumento da distensão mecânica da mesma [46].

A diferença de tensão elétrica (ver figura 4.1) nos terminais interiores da mola helicoidal Ti-Ni surge por conta da alteração na resistividade elétrica que acompanha as mudanças de fases que ocorrem na distensão da mola [40]. Portanto esta propriedade da mola Ti-Ni será a indicação base para verificação na possível alteração do estado L da mola. Com outras palavras, a mola funcionará como um transdutor distensão/tensão elétrica.

Vale notar que a variação da resistividade da mola não sofreu influência da temperatura. Esse efeito foi obtido através de um trabalho de doutorado [37].

4.1.2 Comportamento da tensão elétrica da corrente

Os dados da tabela 4 foram representados na curva tensão-corrente na figura 4.2.

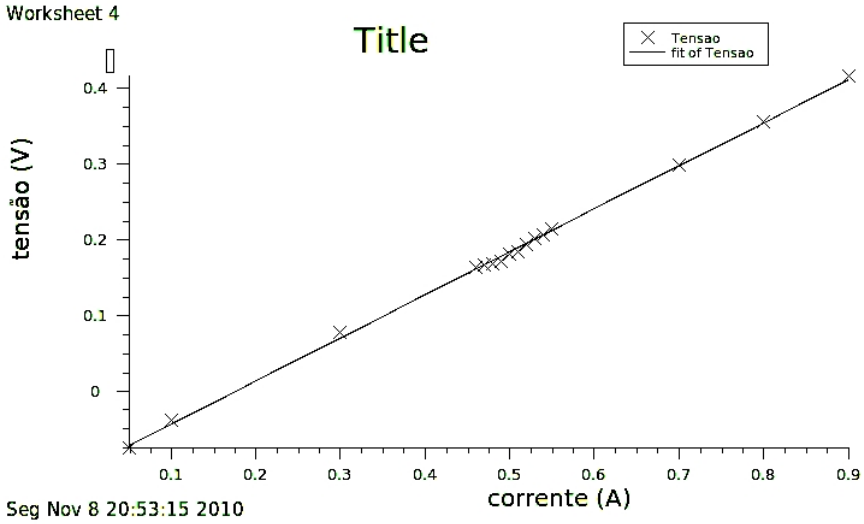


Figura 4.2: Comportamento Tensão elétrica com a variação da corrente

A figura 4.2 mostra que a tensão elétrica mola helicoidal de Ti-Ni apresenta um comportamento linear com a variação da corrente elétrica. Nota-se que a mola

varia a tensão elétrica consideravelmente com pequenas variações na corrente. Isso nos levam a concluir que para obter medições confiáveis no monitoramento da tensão elétrica precisaremos de fonte de corrente regulada. Considerando que o Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio opera com uma fonte de corrente constante e que a tensão elétrica admitida como uma distensão mecânica é da ordem de 10 mV, chega-se a conclusão que a fonte de corrente deve possuir uma alta precisão para que assim, a mesma não induza o sistema a indicar falsos alarmes.

Através desta curva, a mola helicoidal de Ti-Ni obedece à Lei de Ohm (ver equação 3.1).

4.1.3 Comportamento estatísticos da tensão elétrica

Mediante a metodologia adotada na seção 3.2.1.3 , o resultado pode ser visto na figura 4.3. Mediante a distribuição normal na figura citada, podemos extrair a informação que a medição teve uma confiabilidade de 99% para uma faixa de tensão elétrica [0,289 0,294] V [37]. Ou seja, na análise observada, os noventa e nove porcento dos valores medidos estavam entre 289 mV e 294 mV. Observando, assim, uma faixa de 5 mV de incerteza na medição. Com isso, se o sistema de medição possuir uma resolução abaixo de 5 mV, apresentará constantes alarmes falsos de distensão mecânica. Mediante ao estudo apresentado, o sistema de medição deve ser dimensionado para detectar variações de tensão elétrica acima de 5 mV, para que assim, a chance de um falso alarme, seja reduzido para um porcento.

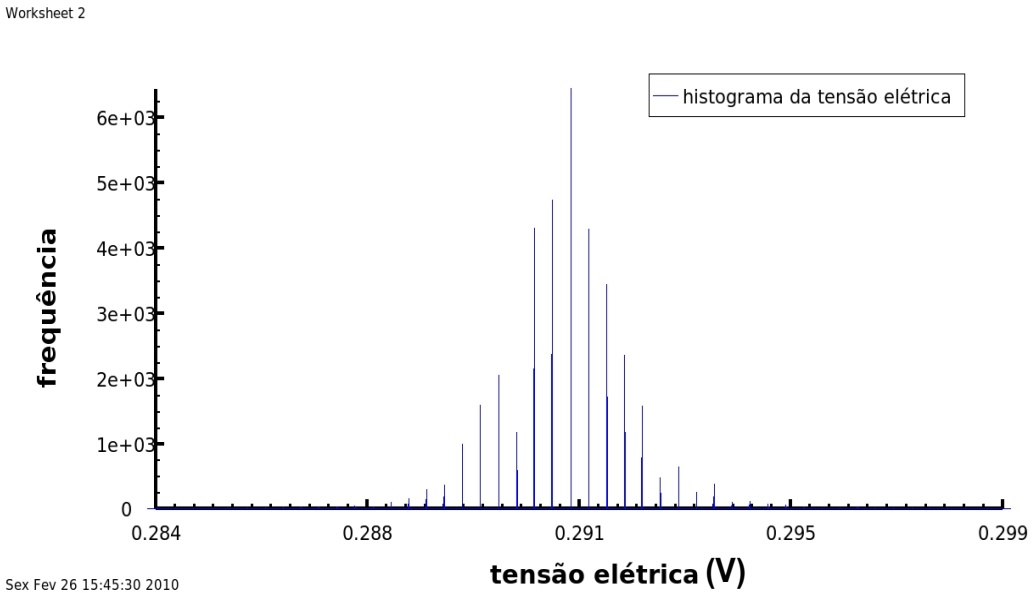


Figura 4.3: Comportamento da tensão com a corrente e o comprimento constantes

4.1.4 Circuito de Aquisição de Dados

4.1.4.1 Parte Hardware

4.1.4.1.1 Procedimento de instrumentação

A primeira proposta de método para monitoramento foi utilizar um resistor de 10 Ω em série com a mola helicoidal de Ti-Ni (ver figura 4.4) e em série com uma fonte de tensão contínua. Sendo assim o monitoramento da variação de tensão elétrica da mola helicoidal Ti-Ni dar-se-ia através da variação diferencial do resistor mencionado. Ou seja com o valor da tensão elétrica no resistor saberíamos se a mola helicoidal estaria distendida ou não (ver seção 3.1). Observando que o papel do multímetro seria realizado através da conversão analógica digital do PIC16F877A. A inclusão deste resistor seria justificado para obter um aumento de resistência na entrada da aquisição.

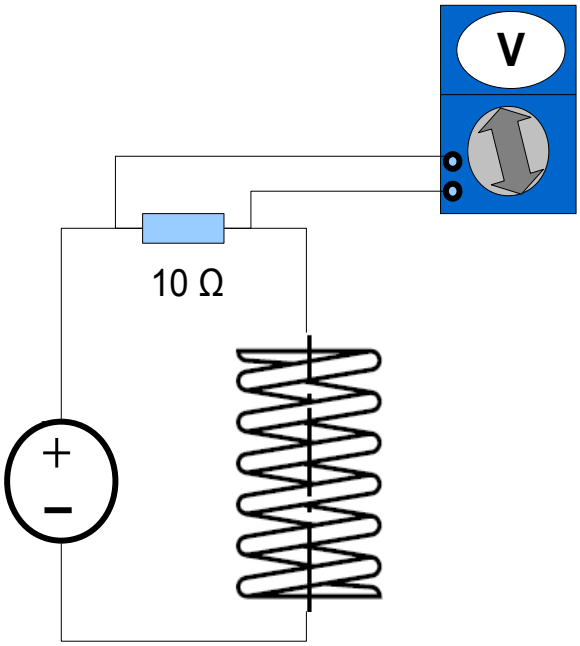


Figura 4.4: Método 1 de monitoramento

Foi feita uma primeira análise e os resultados são mostrado na tabela 5. Os dados desta tabela mostram os valores de tensão elétrica no resistor para a mola mecanicamente distendida ou não, respectivamente, para um determinado valor na fonte de tensão controlável.

Tabela 5: Primeiro resultado da tensão elétrica do resistor

Tensão da fonte de alimentação (V)	Tensão resistor mola distendida (V)	Tensão resistor mola relaxada (V)
3,3	$2{,}2030 \pm 0{,}0005$	$1{,}9690 \pm 0{,}0006$
4,1	$2{,}5320 \pm 0{,}0008$	$2{,}6550 \pm 0{,}0005$
4,8	$3{,}2850 \pm 0{,}0006$	$3{,}3750 \pm 0{,}0007$
5,3	$3{,}5650 \pm 0{,}0005$	$3{,}7670 \pm 0{,}0009$
6,0	$4{,}0810 \pm 0{,}0009$	$4{,}1870 \pm 0{,}0006$

Foi feita uma segunda análise e os resultados são mostrado na tabela 6.

Tabela 6: Segundo resultado da tensão elétrica do resistor

Tensão da fonte de alimentação (V)	Tensão resistor mola distendida (V)	Tensão resistor mola relaxada (V)
3,3	$2,5030 \pm 0,0004$	$2,4030 \pm 0,0009$
4,1	$3,1980 \pm 0,0007$	$3,0900 \pm 0,0006$
4,8	$3,7650 \pm 0,0004$	$3,6350 \pm 0,0005$
5,3	$4,1920 \pm 0,0005$	$4,0670 \pm 0,0008$
6,0	$4,7410 \pm 0,0008$	$4,6840 \pm 0,0005$

Mesmo mantendo as mesmas condições de um experimento para outro, os valores da diferença tensão elétrica tanto na mola distendida ou não distendida da tabela 5 para os da tabela 6, nos seus respectivos valores de tensão na fonte, mostraram-se diferentes. O superaquecimento do resistor leva a uma instabilidade no método de medição sugerido (ver figura 4.4). Portanto o primeiro método de monitoramento mostrou-se instável consequentemente foi abandonado.

A segunda proposta para o procedimento de medição foi alterar a forma de obter a variável.

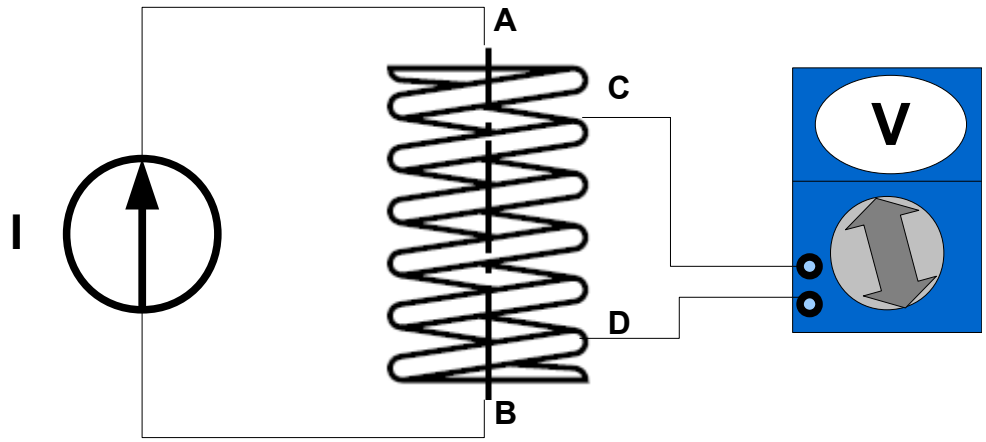


Figura 4.5: Segunda proposta de procedimento de medição

Como pode ser notado na figura 4.5, foi eliminado o resistor. Então o monitoramento da distensão mecânica realizou-se diretamente na mola helicoidal de Ti-Ni. A variável de monitoramento passou a ser a extremidade interior das molas.

Os seguintes resultados foram obtidos:

- O sistema mostrou-se estável, ou seja, várias medições foram obtidas e o grau de repetibilidade das medições foi verificado. Isso deve-se a mudança de fase martensita para austenita não se concluir completamente;

- Um tempo de resposta à variação de tensão na distensão da mola helicoidal de Ti-Ni foi necessário para que o sistema se estabilizasse e fornecesse valores coerentes de tensão;

- Notou-se um maior desempenho no circuito ao mudar o algoritmo de aquisição de dados no software do circuito;

- O isolamento do terra da mola helicoidal de Ti-Ni com o terra do Circuito de Aquisição de Dados eliminou as flutuações de tensão observadas anteriormente;

- Uma estabilidade foi verificada ao acrescentar no sistema de medição um capacitor eletrolítico entre o V_{CC} e o terra do circuito.

4.1.4.2 Parte Software

A parte lógica do sistema apresentou no projeto inicial uma instabilidade na aquisição dos dados. Dados eram adquiridos comparados e falsos alarmes de distensão mecânica da mola helicoidal de Ti-Ni devido a sinais espúrios na porta do PIC16F877A eram mostrados. Com isso foi adotado um procedimento de comparações sucessivas o qual proporcionou robustez e confiabilidade no monitoramento de distensão mecânica. Com isso, eliminou-se o efeito de sinais espúrios no resultado do monitoramento.

4.1.5 Transmissor Sem Fio de Dados

Para atestarmos se os dados transmitidos não são perdidos, testamos nosso Transmissor Sem Fio de Dados num ambiente de alta possibilidade de interferência eletromagnética, ou seja, Sistema Digital de Medição foi ativado em funcionamento numa casa de força que supre energia elétrica de um determinado aeroporto. A casa de força deste local possui uma capacidade de 112.5 kVA. Além do mais existem operações de comunicação por rádio entre aeronave e torre de controle em várias bandas de frequência, comunicação de sistema de telefonia celular, internet wireless dentre outros. Consequentemente haverá radiação de ondas magnéticas que poderá induzir perdas de dados transmitidos.

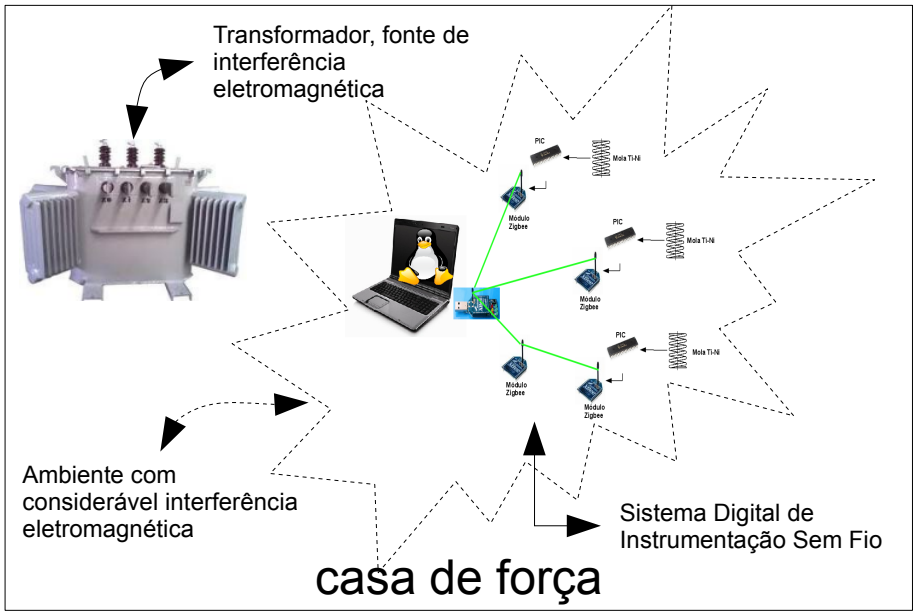


Figura 4.6: Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio em ambiente de interferência eletromagnética

De acordo com a figura 4.6 nosso ***Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio*** está em funcionamento num ambiente de considerável interferência eletromagnética ocasionada pelo transformador de alta potência e outros fatores citados.

O resultado do procedimento citado foi que o sistema mostrou-se robusto sem qualquer alteração na mensuração no ***Sensor de Distensão Mecânica Sem Fio*** e com uma alta potência na recepção dos dados. Concluindo com isso que o sistema é confiável em ambientes com hostilidade eletromagnética.

O segundo procedimento foi testar o alcance da transmissão. Conforme o o fabricante, os módulos XBEE-PRO alcançam enlaces a uma distância de 1600 m para o dispositivo usado (ver seção 3.2.3). Então utilizamos os caminhos laterais à pista do Aeroporto Internacional de Maceió Zumbi dos Palmares devido à sua liberdade de obstáculo aliada à característica plana do terreno.

O Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio manteve uma comunicação a 1300 metros, abaixo do mencionado pelo fabricante [19]. Essa diminuição da distância pode ser resultados das aeronaves que em alguns momentos transitavam na pista de pouso.

4.1.6 Bloco Sistema Operacional Linux

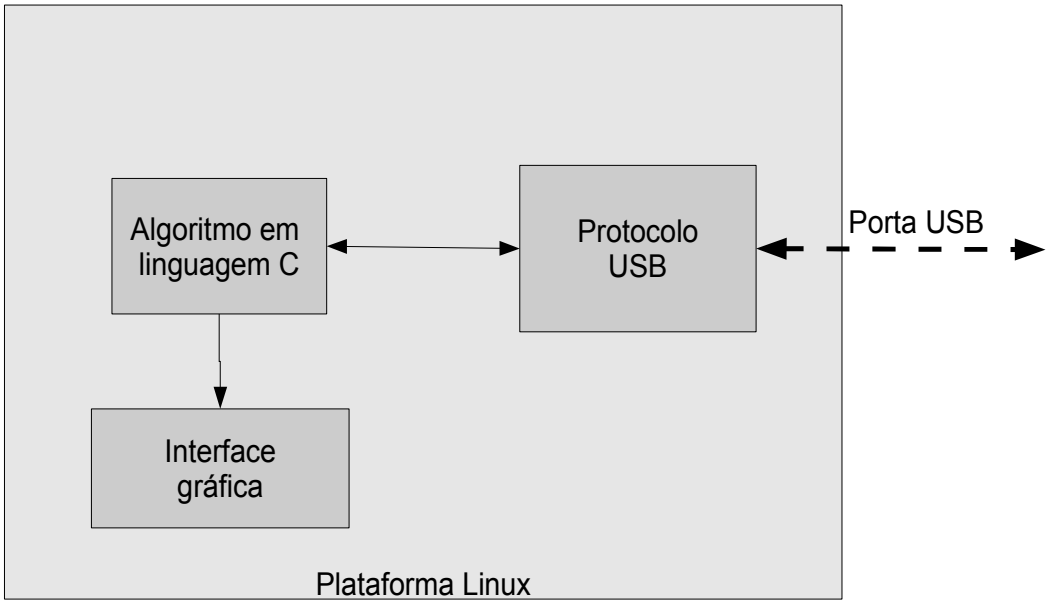


Figura 4.7: Ilustração do funcionamento do bloco sistema operacional Linux

Para que nosso software, integrado no Sistema de Coordenação e Monitoramento, exerça a comunicação através do barramento USB com o Circuito de Recepção de Dados, tivemos que instalar o driver do chip FT232 do fabricante FTDI chip .

Tivemos alguns problemas na comunicação como:

- Não estávamos obtendo dados do ***Sensor de Distensão Mecânica Sem Fio*** devido a má conexão do dispositivo zigbee com o protoboard. A solução foi usar uma adaptação do dispositivo para o protoboard junto com um regulador de tensão 5V para 3.3V;

- Não houve comunicação inicial do Sistema de Coordenação e Monitoramento Sem Fio com ***Sensor de Distensão Mecânica*** sendo solucionado com a correta configuração de endereço dos transmissores zigbee. Com a configuração correta de endereçamento o ***Sistema Digital de Instrumentação Sem Fio.***

A interface gráfica *GLADE* foi abandonada devido a não obtermos resultados satisfatórios quando desejávamos atualizar os dados a cada 1 segundo. Com isso, implementamos o algoritmo em linguagem C usando o modo texto do console. Tal procedimento trouxe resultados rápidos concernente a implementações de funções extras e em relação à simplicidade.

5 CONCLUSÕES

A mola de Ti-Ni apresentou um ponto de operação, neste trabalho, em que o sistema ofereceu robustez com confiabilidade de 99% na faixa de tensão elétrica [0,289 0,294V]. Indicando por sua vez que o Sistema de Instrumentação Sem Fio não apresentará falsos alarmes na indicação da distensão mecânica da mesma.

O procedimento de implementação de hardware com o PIC16F877A mostrou-se robusto. Sua utilização junto com a mola helicoidal de Ti-Ni e outros dispositivos aqui apresentados ofereceram a estabilidade.

O algoritmo implementado na avaliação do estado mecânico da mola apresentou um alto grau de confiabilidade na indicação do fenômeno.

O Transmissor Sem Fio de Dados mostrou um desempenho estável. A análise da integridade dos dados em locais que alta possibilidade de interferência eletromagnética apresentou a conclusão de que a indicação do fabricante no quesito segurança nos dados são verdadeiras. Outro ponto em estudo sobre a distância de comunicação alcançou um resultado próximo ao sugerido pelo fabricante.

O Sistema Operacional Linux apresentou de forma surpreendente a confiabilidade e segurança. O algoritmo funcionou positivamente na plataforma Linux. O driver de comunicação USB do fabricante não apresentou nenhum tipo de falhas. A instalação do mesmo é documentada no site da empresa que fornece o produto facilitando o uso e operação dos comandos necessários para o desenvolvimento do trabalho. A implementação do algoritmo C em modo texto, apresentou melhores resultados do que ao testado em modo gráfico com o GLADE.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Confeccionar uma placa eletrônica que possa comportar dispositivos em miniatura.

Fazer um interfaceamento gráfico do monitoramento dos dados.

Implementar no projeto uma fonte independente de corrente constante.

Fazer estudo sobre o comportamento da mola Ti-Ni em variação da frequência do sinal de entrada.

REFERÊNCIAS

1: FERREIRA, AURELIO BUARQUE DE HOLANDA. . 7ª ed.. : DICIONÁRIOS MONOLÍNGUES , . p.. ISBN:.

2: RAPPAPORT, THEODORE S.. **COMUNICAÇÃO SEM FIO**. 2ª ed.. São Paulo: , 2008. 408p.. ISBN:978-85-7605-198-5.

3: BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. 1ª ed.. Rio de Janeiro: , 2006. 474p.. ISBN:85-216-1496-9.

4: PALMA, J. C. P.. **Accionamentos Electromecânico de Velocidade Variável**. 1º ed.. Porto, Portugal: , 1999. 446p.. ISBN:972-31-0839-9.

5: P. Oksa and M. Soini and L. Sydänheimo and M. Kivikoski. **Energy and Buildings: Kilavi platform for wireless building automation**. Elsevier, www.elsevier.com/locate/enbuild, v. 40, n. s/n, p. 1721-1730, fev. 2008.

6: MAINARDI, E., BANZI, S., BONFIÈ, M. e BEGHELLI, S.. **A low-cost Home Automation System based on Power-Line Communication Links**. ISARC 2005, Ferrara, Itália, v. 1, n. 1, p. , setembro. 2005.

7: A. R. Chraplyvy. **Limitations on lightwave communications imposed by optical-fibernonlinearit**. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, http://ieeexplore.ieee.org, v. 8, n. 10, p. 1548-1557, October. 1990.

8: VALDASTRI, Pietro et al.. **An implantable ZigBee ready telemetric platform for in vivomonitoring of p**. ELSEVIER, www.sciencedirect.com, v. 1, n. 140, p. 369-378, . 2008.

9: KOERING, A. G.;HENRIQUE, C. H.. **ZIGBEE – CONECTIVIDADE WIRELESS PARA AUTOMAÇÃO E CONTROLE**. , cep 93032 90, v. , ,2008, pp

10: IEEE. **Wireless LAN MAC and PHY layer specifications**. Disponível em: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>. Acesso em: 12/11/2010.

11: FARAHANI, Shahin. Zigbee Basics. **ZigBee Wireless Networks and Transceivers**. 1ª ed. USA: Elsevier, 2008. 364p.. ISBN:978-0-7506-8393-7.

12: ALLIANCE. **Zigbee Alliance**. Disponível em: <http://www.zigbee.org>. Acesso em: 01/09/2009.

13: ZIGBEE. **Zigbee Specification**. Disponível em: <http://www.zigbee.org>. Acesso em: 31/3/2010.

14: KINNEY Patrickl. **ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works**. Communications Design Conference, pat.kinney@ieee.org, v. 1, n. 1, p. 20, outubro. 2003.

15: ZUCATO, Fábio. **Rede Zigbee Gerenciada por Sistemas de Monitoramento Remoto Utilizando...**. 2009. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-PPGEE, EESCUSP, São Carlos-SP.

16: FARAHANI, Shahin. ZigBee and IEEE 802.15.4 Networking Layers. **ZigBee Wireless Networks and Transceivers**. 1ª ed. USA: Elsevier, 2008. 364p.. ISBN:978-0-7506-8393-7.

17: J. Gutierrez et al.. **Low-rate wireless personal area network**. Disponível em: <http://standards.ieee.org/>. Acesso em: 2007.

18: IEEE. **Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY)Specification**. Disponível em: <http://standards.ieee.org/>. Acesso em: 02/04/2010.

19: DIGI INTERNACIONAL. a mencionar. **Manual: XBee ZNet 2.5/XBee PRO Znet 2.5 OEM RF Modules- ZigBee - v1.x4x**. 1ª ed. Minnetonka: Digi Internacional Inc, 2008. 91p.. ISBN:não possui.

20: DIGI INTERNACIONAL. Modes of Operation. **Manual: XBee ZNet 2.5/XBee PRO Znet 2.5 OEM RF Modules- ZigBee - v1.x4x**. 1ª ed. Minnetonka: Digi Internacional Inc, 2008. 91p.. ISBN:.

21: DIGI INTERNACIONAL. ZigBee Networks. **Manual: XBee ZNet 2.5/XBee PRO Znet 2.5 OEM RF Modules- ZigBee - v1.x4x**. 1ª ed. Minnetonka: Digi Internacional Inc, 2008. 91p.. ISBN:não possui.

22: U. A. Feitosa. **ARQUITETURA DE SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO EM REDES DE CONTROLE E ...**. XIII ERIAC, Puerto Iguazú, v. , n. , p. 1-7, maio. 2009.

23: FARAHANI, Shahin. ZigBee Coexistence. **ZigBee Wireless Networks and Transceivers**. 1ª ed. USA: Elsevier, 2008. 364p.. ISBN:978-0-7506-8393-7.

24: GILLES Thonet et al. 6. **ZigBee – WiFiCoexistence**. 1 ed. Grenoble, France: SCHNEIDER ELETRIC, 2008. 38p.. ISBN:não possui.

25: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS. **Universal Serial Bus Specification**. Disponível em: <www.usb.org>. Acesso em: 07/04/2010.

26: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS. 4.1 USB System Description. **Universal Serial Bus Specification**. 2.0 ed. www.usb.org: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS, 2000. 650p.. ISBN:não possui.

27: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS. 4.4 Bus Protocol. **Universal Serial Bus Specification**. 2.0 ed. www.usb.org: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS, 2000. 650p.. ISBN:não possui.

28: COBERT, Jonathan; RUBINI,Alessandro; KROAH-HARTMAN, Greg. **Linux Device Drivers**. 3ª ed.. USA: OREILLY & ASSOC , 2005. 636p.. ISBN:0596005903.

29: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS. 4.9 USB Host: Hardware and Software. **Universal Serial Bus Specification**. 2.0 ed. www.usb.org: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS, 2000. 650p.. ISBN:não possui.

30: COMPAQ; HP; INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS. 4.8 USB Devices. **Universal Serial Bus Specification**. 2.0 ed. www.usb.org: COMPAQ; HP;

INTEL; LUCENT; MICROSOFT; NEC; PHILIPS, 2000. 650p.. ISBN:não possui.

31: MESSIAS, Antônio R. **Curso usb/serial – controle de dispositivos - Curso de Barramento USB**. Disponível em: <http://www.rogercom.com>. Acesso em: 12/04/2010.

32: WIKIPÉDIA. **LINUX**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Linux>. Acesso em: 01/04/2010.

33: WIKIPÉDIA. **UNIX**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/UNIX>. Acesso em: 01/04/2010.

34: BANCO DO BRASIL. **BB adota software livre em caixas eletrônicos**. Disponível em: <http://www.bb.com.br/>. Acesso em: 10/11/2009.

35: GTK+ Team. **What is GTK+**. Disponível em: <http://www.gtk.org/>. Acesso em: 01/04/2010.

36: DE SOUZA, A. Duarte. **Tutorial: Glade - Parte I**. Disponível em: <http://olinux.uol.com.br/artigos/420/1.html>. Acesso em: 15/04/2010.

37: MIRANDA, E. Silva. **DESENVOLVIMENTO DE SENSOR DE TI-NI PARA DETECÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DE ...**. 2010. 128f. Dissertação ()-PPGEM, UFPE, RECIFE-PE.

38: M. M. da Silva et al. **ESTUDO DE UMA LIGA BASE Ti-Ni COM MEMÓRIA DE FORMA VISANDO APLICAÇÕES EM CONEXÕES DE TUBULAÇÕES NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E GÁS**. CBECIMat, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, v. 17º, n. 1, p. 4947-4957, novembro. 2006.

39: C. H. GONZALEZ. **PROPRIEDADE ELETRO-TERMOMECÂNICA DE LMF A BASE DE COBRE**. Revista Iberoamericana de Ingenieria Mecânica, , v. 11, n. , p. 37-45, fevereiro. 2006.

40: OLIVERIRA, C. A. N.. **Caracterização termoelástica molas d liga Cu-Zn-Al com memória de forma**. 2007. 79f. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica)-PPGEM, UFPE, Recife.

41: OTSUKA, K.; WAYMAN, C. M.. **Shape Memory Materials**. 1 ed.. Cambridge, UK: Cambridge University Press , 1998. 1 – 131p.. ISBN:não possui.

42: FUNUKUBO, H.. **Shape Memory Alloys**. University of Tokyo, , v. 1, n. , p. 275, . 1986.

43: TOCCI, Ronald J.. **Sistema digitais : princípios e aplicações**. 8ª edição ed.. São Paulo: , 2003. p 641-642p.. ISBN:85-87918-20-6.

44: SOUZA, D. J. , LAVINIA, N. C.. **Conectando o PIC: explorando Recursos Avançados**. 1ª edição ed.. São Paulo: , 2003. p. 5-23p.. ISBN:8571947376.

45: MICROCHIP. Section 21. 8-bit A/D Converter. **PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual**. ed. www.microchip.com/: MICROCHIP, 1997. 688p.. ISBN:não possui.

46: BEZERRA, Jadeilson. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO DE MEDIÇÃO ...**. CONEM 2010, Campina Grande - PB, v. 1, n. 0736, p. 8, agosto. 2010.

ANEXO CÓDIGO FONTE DO CIRCUITO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

```
;*****************************************************************
;*                                                               TITULO: MODELO
                                    *
;*                                                                                                AUTORES:    JADEILSON DE SANTANA BEZERRA
                                                        *
;*
;*                                                                                                                                                *
;*
;*****************************************************************
;
;
;                                                COMENT�RIOS E DESCRI��O DO PROBLEMA PROPOSTO:
;                                           MODELO DE PROGRAMA PARA OS ALUNOS DE ELETR�NICA DIGITAL
;
;
;*****************************************************************
;*                                                 ARQUIVO DE DEFINI��ES(PIC16F84)
            *
;*****************************************************************
;
#INCLUDE  <P16F877A.INC>                        ;PADR�O MICROCHIP PARA PIC16F84
;
__CONFIG _HS_OSC & _WDT_OFF & _PWRTE_OFF & _CP_OFF & _DEBUG_ON & _LVP_OFF  & _BODEN_OFF ;DESABILITA O WACTH DOG E OUTROS

;*****************************************************************
;*              PAGINA��O DE MEM�RIA                                                                                *
;*****************************************************************
;DEFINI��O DE COMANDOS DE USU�RIO PARA ALTERA��O DA P�GINA DE MEM�RIA

#DEFINE BANK0 BCF  STATUS, RP0   ;SETA BANK 0 DE MEM�RIA
#DEFINE     BANK1 BSF  STATUS, RP0   ;SETA BANK 1 DE MEM�RIA

;*****************************************************************
;*                                                                                                DEFINI��ES GERAIS
                                    *
;*****************************************************************
;DEFINI��O DE MNEM�NICOS PARA ACESSO A BITS DE REGISTRADORES ESPECIAIS


#DEFINE                 TFLAG                                   INTCON,T0IF;FLAG SINALIZADOR DE ESTOURO DO TIMER0
#DEFINE                 PFLAG                                   INTCON,INTF;FLAG SINALIZADOR DE INTERRUP��O EM RB0 NA QUAL INTERROMPERA PARA
DIGITAR SENHA
#DEFINE SFLAG           INTCON,RBIF;FLAG SINALIZADOR DE INTERRUP��O NOS SENSORES NO QUAL ATIVARA OS ALARMES
;*****************************************************************
;*                                                                                                VARI�VEIS
                                    *
;*****************************************************************
            ;DEFINI��O DO BLOCO DE VARI�VEIS
CBLOCK 0x20                     ;ENDERE�O INICIAL DA M�MORIA DO USU�RIO
            W_TEMP              ;REGISTROS TEMPORARIOS PARA USO JUNTO AS
            STATUS_TEMP         ;INTERRUP��ES
            FLAG                ;REGISTRO PARA FLAGS
            FLAG2
            TEMPO0
            TEMPO1                                                  ;CONTADORES PARA DELAY
            TEMPO2
            TEMPO3
            FILTRO_BOTOES
            CONTADOR_AD                                 ;FILTRO PARA RUIDO
            AUX                                         ;CHAVE QUE INDICAR� ESTOURO DO TIMER1
            TENSAO_MAX
            UNIDADE
            DEZENA
            CENTENA
            temp
            AUX_TMR0

            H_byte
            L_byte

            mulplr
            mulcnd

            ACCaHI
            ACCaLO
            ACCbHI
            ACCbLO
            ACCcHI
            ACCcLO
            ACCdHI
            ACCdLO
            TEMPO_TURBO

                                                            ;OUTRAS VARI�VEIS
            ENDC                                    ;FIM DE BLOCO DE VARI�VEIS
;*****************************************************************
;*                                                                                                FLAGS INTERNOS
                                    *
;*****************************************************************
;DEFINI��O DE TODOS OS FLAGS UTILIZADOS PELO SISTEMA
```

```
;#DEFINE     SINAL_S                 FLAG,0  ;FLAG PARA INFORMAR QUE A CHAVE S
#DEFINE                 FLAG_MOSTRA_DADOS  FLAG,0
;xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
#DEFINE     TELA_PRINCIPAL                  FLAG2,0                                                                                 ;FOI
APERTADA
                                                                                                                                    ;1 -> CHAVE FOI APERTADA
                                                                                                                                    ;0 -> CHAVE N�O FOI APERTADA
;*********************************************************************
;*                                                                                                                                  CONSTANTES
                                                                *
;*********************************************************************
;DEFINI��O DAS CONSTANTES UTILIZADAS NO PROGRAMA
;BASE DE TEMPO DO TIMER SER� DE 10HZ. O DELAY PODE SER CALCULADO USANDO A
;EXPRESS�O: D=((CONTMAX - N)*PRESCALER)/F;
TENSAO_MAX1             EQU             .120
TENSAO_MAX2             EQU             .130
TENSAO_MAX3             EQU             .140
;DELAY_1S   EQU                         .200 ;DELAY DE 1 SEGUNDO COM F=10HZ
;DELAY_2S   EQU                         .236 ;DELAY DE 2 SEGUNDOS COM F=10HZ
;TEMPO0                 EQU                     .250
;TEMPO1                 EQU                     .250
;TEMPO2                 EQU                     .250
;TEMPO3                 EQU                     .10
;xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

FILTRO_TECLA            EQU                     .200                    ;FILTRO PARA EVITAR RUIDOS DOS FILTROS
;*********************************************************************
;*                                                                                                                                  ENTRADAS
                                                                *
;*********************************************************************
;DEFINI��O DE TODOS OS PINOS DE ENTRADA UTILIZADOS E O SIGNIFICADO DE
;SEUS ESTADOS (0 E 1)
;#DEFINE                 BOTAO_1                 PORTA,0  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 4
#DEFINE                 BOTAO_1                 PORTA,1  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 3
#DEFINE                 BOTAO_2                 PORTA,2  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 2
#DEFINE                 BOTAO_3                 PORTA,3  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 1
#DEFINE                 BOTAO_4                 PORTA,4  ;OK
#DEFINE                 BOTAO_5                 PORTA,5  ;SAIR
#DEFINE                 BOTAO_6                 PORTC,0  ;TESTA SA�DA DO SENSOR 3
#DEFINE                 SENSOR4                 PORTB,5  ;TESTA SA�DA DO SENSOR 4



;#DEFINE                 BOTAO_0                 PORTC,0  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 4
;#DEFINE                 BOTAO_1                 PORTC,1  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 3
;#DEFINE                 BOTAO_2                 PORTC,2  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 2
;#DEFINE                 BOTAO_3                 PORTC,3  ;ESTADO DA CHAVE HEXADECIMAL NO BIT 1

;*********************************************************************
;*                                                                                                                                  SA�DAS
                                                                *
;*********************************************************************
;DEFINI��O DE TODOS OS PINOS DE SA�DA UTILIZADOS E O SIGNIFICADO DE SEUS
;ESTADOS (0 E 1)
#DEFINE                 OP                      PORTB,1  ;LIBERAR A TRANCA DA CHAVE
#DEFINE                 LED1                    PORTB,2         ;LED SENHA ERRADA
#DEFINE                 LED2                    PORTB,3         ; LED SENHA CORRETA
#DEFINE                 LED3                    PORTB,6         ; LED OPERA��O
#DEFINE                 PC                      PORTB,7         ; LED BUZINA ACIONARA A BUZINA
#DEFINE                 DISPLAY                 PORTD  ;BARRAMENTO DE DADOS DO DISPLAY COMUNICA��O DO LCD
#DEFINE                 RS                      PORTE,0         ;INDICA PARA O DISPLAY UM DADO OU COMANDO
                                                                                                                                    ;1 -> DADOS
                                                                                                                                    ;0 -> COMANDO
#DEFINE                 ENABLE                  PORTE,1         ; SINAL DE ENABLE PARA DISPLAY

;*********************************************************************
;*                                                                                                                                  VETOR RESET
                                                                *
;*********************************************************************
                ORG                     0x00            ;ENDERE�O INICIAL DE PROCESSAMENTO
                GOTO            INICIO          ;VAI PARA O IN�CIO DO PROGRAMA

;*********************************************************************
;*                                                                                                                                  INICIO DA INTERRUP��O
                                                                *
;*********************************************************************
                ORG                     0x0004                  ;ENDERE�O INICIAL DA INTERRUP��O
                MOVWF           W_TEMP                  ;COPIA W PARA W_TEMP
                SWAPF           STATUS,W        ;COPIA STATUS TROCANDO NIBBLE PARA W
                MOVWF           STATUS_TEMP             ;TRANSFERE STATUS DE WREG PARA STATUS_TEMP

;*********************************************************************
;*                              ROTINA DE ATENDIMENTO DA INTERRUP��O                                                                *
;*********************************************************************
;BTFSS          KEY             ;IR� TESTAR SE ENTROU EM CONTAGEM DO TIMER1 AO DETETAR PRESEN�A
;GOTO           CONTAGEM_DA_PRESENCA            ;SE N�O CONTOU VAI CONTAR O TEMPO

BTFSS           TFLAG
GOTO            MAIN
;GOTO           ALARME



;*********************************************************************
;*                                                                                                                                  SA�DA DA INTERRUP��O
                                                        *
```

```
;*****************************************************************
SAI_INT
            SWAPF       STATUS_TEMP,W       ;COPIA STATUS_TEMP TROCANDO NOVAMENTE O NIBBLE PARA WREG
            MOVWF       STATUS                      ;MOVE STATUS_TEMP DO WREG PARA STATUS
            SWAPF       W_TEMP,F            ;INVERTE O NIBBLE DE W_TEMP E GUARDA NO PR�PRIO W_TEMP
            SWAPF       W_TEMP,W            ;MOVE W_TEMP PARA W REINVERTENDO O NIBBLE
            RETFIE                          ;SAI DA INTERRUP��O (REABILITANDO O TRATAMENTO DAS INTERRUP��ES)
;*****************************************************************
;*                                                                       ROTINAS E SUB-ROTINAS
                                    *
;*****************************************************************
;DEFINI��O DAS ROTINAS E SUB-ROTINAS:









;DELAY1S                ;NESSA PARTE USAREI UM OSCILADOR DE 100Hz
;           MOVLW       B'11000000'  ;HABILITA A INTERRUP��O GERAL
;           MOVWF       INTCON
;           CLRF        TMR1L
;           CLRF        TMR1H
;           MOVLW       B'11000000'  ;CONTA A PARTIR DE 49152 PARA TENTAR 1 SEG
;           MOVWF       TMR1H
;           MOVLW       B'00000000'
;           MOVWF       TMR1L
;
;           MOVLW       B'110011'    ;IN:RB0,RB1, OUT: RB2,RB3,RB4,RB5,RB6,RB7
;           MOVWF       T1CON                   ;HABILITA CLOCK EXTERNO


;DELAY2S
;           BCF         TFLAG                           ;LIMPA O FLAG DE ESTOURO DO TIMER0
;           MOVLW       .0                      ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA W
;           MOVWF       TMR0                            ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA TMR0
;           BTFSS       TFLAG                           ;A CONTAGEM DE 1 SEGUNDO TERMINOU?
;           GOTO        $-1                                     ;N�O, VOLTA PARA ESPERAR
;           BCF                     TFLAG                       ;SIM, LIMPA O FLAG DE ESTOURO DO TIMER
;           RETURN




DELAY_ESPERA
                                    ;DELAY PARA IMPLEMANTA��O DO INTERVALO DE ATIVAR E DESAT O SIST
MOVLW       .255
MOVWF       TEMPO3                  ;CARREGA TEMPO3 (UNIDADES DE MS)
MOVLW       0XFF                    ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA TMR0
MOVWF       TEMPO0                  ;CARREGA TEMPO0 (UNIDADES DE MS)

BCF                     SFLAG                           ;N�O UTILIZADO
DECFSZ      TEMPO2,F    ;FIM DE TEMPO0?
GOTO        $-2                                 ;N�O VOLTA 2 INSTRU��ES
                                                ;SIM PASSOU-SE 1MS
DECFSZ      TEMPO3,F    ;FIM DE TEMPO1 ?
GOTO        $-6                                 ;N�O VOLT
BCF                     SFLAG
RETURN




;DELAY_ESPERA
                                    ;DELAY PARA IMPLEMANTA��O DO INTERVALO DE ATIVAR E DESAT O SIST

;BCF        TFLAG                            ;LIMPA O FLAG DE ESTOURO DO TIMER0
;MOVLW      .0                       ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA W
;MOVWF      TMR0                             ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA TMR0
;BTFSS      TFLAG                            ;A CONTAGEM DE 1 SEGUNDO TERMINOU?
;GOTO       $-1                                      ;N�O, VOLTA PARA ESPERAR
;BCF        TFLAG                            ;SIM, LIMPA O FLAG DE ESTOURO DO TIMER
;MOVLW      B'10010000'
;MOVWF      OPTION_REG               ;DEFINE OP��ES DE OPERA��O
;RETURN



;DELAY_BOTOES
                                    ;DELAY PARA IMPLEMANTA��O DO INTERVALO DE ATIVAR E DESAT O SIST
;MOVLW      .100
;MOVWF      TEMPO3                   ;CARREGA TEMPO3 (UNIDADES DE MS)
;MOVLW      0XFF                     ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA TMR0
```

```
;MOVWF     TEMPO0                  ;CARREGA TEMPO0 (UNIDADES DE MS)

;NOP                                ;N�O UTILIZADO
;DECFSZ    TEMPO2,F    ;FIM DE TEMPO0?
;GOTO      $-2                     ;N�O VOLTA 2 INSTRU��ES
                                   ;SIM PASSOU-SE 1MS
;DECFSZ    TEMPO3,F    ;FIM DE TEMPO1 ?
;GOTO      $-6                     ;N�O VOLT
;RETURN



DELAY_MS                           ;DELAY PARA IMPLEMANTA��O DO LCD

MOVLW     .50
MOVWF     TEMPO1                   ;CARREGA TEMPO1 (UNIDADES DE MS)
MOVLW     .200                     ;MOVE O VALOR DE DELAY DE 1 SEG PARA TMR0
MOVWF     TEMPO0                   ;CARREGA TEMPO0 (UNIDADES DE MS)

BCF                SFLAG                   ;N�O UTILIZADO
DECFSZ    TEMPO0,F    ;FIM DE TEMPO0?
GOTO      $-2                      ;N�O VOLTA 2 INSTRU��ES
                                   ;SIM PASSOU-SE 1MS
DECFSZ    TEMPO1,F    ;FIM DE TEMPO1 ?
GOTO      $-6                      ;N�O VOLTA 6 INSTRU��ES
                                                ;SIM

RETURN                             ;RETORNA

ESCREVE

          MOVWF     DISPLAY                  ;ATUALIZA DISPLAY (PORTD)
          NOP                                ;PERDE 1US PARA ESTABILIZA��O
          BSF                ENABLE          ;ENVIA UM PULSO DE ENABLE PARA O DISPLAY
          GOTO      $+1
          BCF                ENABLE                  ;N�O, VOLTA PARA ESPERAR
          MOVLW     .1
          CALL      DELAY_MS                 ;DELAY DE 1MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS                 ;DELAY DE 1MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS                 ;DELAY DE 1MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS                 ;DELAY DE 1MS
;         CALL      DELAY_MS
;         CALL      DELAY_MS

RETURN



MOSTRA_TELA_PRINCIPAL
          BCF       TELA_PRINCIPAL                  ;LIMPA FLAG PARA MOSTRAR TELA PRINCIPAL

          BCF       RS                                      ;SELECIONA DISPLAY PARA COMANDO
          MOVLW     0X01                            ;ESPERA COMANDO PARA
          CALL      ESCREVE                         ;LIMPA TELA
          MOVLW     .1
          CALL      DELAY_MS                ;DELAY 1MS

          MOVLW     0X80                            ; COMANDO PARA POSICIONAR O CURSOR
          CALL      ESCREVE                         ;LINHA 0/ COLUNA 2
          BSF                RS                              ;SELECIONA DISPLAY PARA DADOS

          MOVLW     'I'                                     ;LETRAS MOSAICO ENG
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     '-'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     'R'                                     ;LETRAS MOSAICO ENG
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     'I'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     ' '
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     '2'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     '-'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     'R'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     '2'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     ' '
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     '3'
          CALL      ESCREVE
          MOVLW     '-'
```

```
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'R'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   '3'
                CALL    ESCREVE
;               MOVLW   ' '
;               CALL    ESCREVE
;               MOVLW   ' '
;               CALL    ESCREVE

                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS

                BCF     RS                                              ;SELECIOANA DISPLAY PARA COMANDOS
                MOVLW   0XC0                                    ;COMANDO PARA POSICIONAR CURSOR
                CALL    ESCREVE                                 ;LINHA 1 / COLUNA 0

                BSF     RS

;               MOVLW   'F'
;               CALL    ESCREVE
;               MOVLW   'I'
;               CALL    ESCREVE
;               MOVLW   'E'
;               CALL    ESCREVE
;               MOVLW   'L'
;;              CALL    ESCREVE
;               MOVLW   ' '
;               CALL    ESCREVE
                MOVLW   '4'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   '-'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'A'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'Q'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'U'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'I'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'S'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'I'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'C'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'A'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'O'
                CALL    ESCREVE

                CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS
                CALL    DELAY_MS

RETURN



;TENSAO_1
;BSF            LED1
;CALL           TEXTO_TENSAO1

;RETURN
```

```
MOSTRAR_CONTADOR
MOVLW   0XC9
CALL    ESCREVE
BSF     RS
SWAPF   CONTADOR_AD,W
ANDLW   B'00001111'
MOVWF   AUX
MOVLW   0X0A
SUBWF   AUX,W
MOVLW   0X30
BTFSC   STATUS,C
MOVLW   0X37

ADDWF   AUX,W

CALL    ESCREVE
MOVF    CONTADOR_AD,W
MOVWF   AUX
MOVLW   0X0A
SUBWF   AUX,W
MOVLW   0X30
BTFSC   STATUS,C
MOVLW   0X37

ADDWF   AUX,W

CALL    ESCREVE
BCF     RS

RETURN




AJUSTE_DECIMAL
MOVWF   AUX
CLRF    UNIDADE
CLRF    DEZENA
;CLRF   CENTENA
MOVF    AUX,F
BTFSC   STATUS,Z
RETURN

INCF    UNIDADE,F
MOVF    UNIDADE,W
XORLW   0X0A
BTFSS   STATUS,Z
GOTO    $+3

CLRF    UNIDADE
INCF    DEZENA,F
DECFSZ  AUX,F
;XORLW  0X0A
;BTFSS  STATUS,Z
GOTO    $-8

;CLRF   DEZENA
;INCF   CENTENA,F

;DECFSZ AUX,F
;GOTO   $-14
RETURN


;*************************************
;ROTINA PARA MULTIPLICA��O
;*************************************

mult    MACRO   bit

BTFSC   mulplr,bit
ADDWF   H_byte,F
RRF     H_byte,F
RRF     L_byte,F
ENDM

mpy_F

CLRF    H_byte
CLRF    L_byte
MOVF    mulcnd,W
BCF     STATUS,C

mult    0
mult    1
mult    2
mult    3
mult    4
mult    5
mult    6
mult    7
```

```
RETURN

;*********************************************
;ROTINA DE DIVIS�O
;*********************************************

D_divF
MOVLW   .16
MOVWF   temp

MOVF    ACCbHI,W
MOVWF   ACCdHI
MOVF    ACCbLO,W
MOVWF   ACCdLO
CLRF    ACCbHI
CLRF    ACCbLO
CLRF    ACCcHI
CLRF    ACCcLO

DIV
BCF     STATUS,C
RLF     ACCdLO,F
RLF     ACCdHI,F
RLF     ACCcLO,F
RLF     ACCcHI,F
MOVF    ACCaHI,W
SUBWF   ACCcHI,W
BTFSS   STATUS,Z
GOTO    NOCHK
MOVF    ACCaLO,W
SUBWF   ACCcLO,W
NOCHK
BTFSS   STATUS,C
GOTO    NOGO
MOVF    ACCaLO,W
SUBWF   ACCcLO,F
BTFSS   STATUS,C
DECF    ACCcHI,F
MOVF    ACCaHI,W
SUBWF   ACCcHI,F
BSF     STATUS,C
NOGO
RLF     ACCbLO,F
RLF     ACCbHI,F
DECFSZ  temp,F
GOTO    DIV
RETURN

;ENERGIA_ALTERNATIVA


;*********************************************
;ROTINA PARA AQUISI��O DE DAOS
;*********************************************

MOSTRA_DADOS_LCD
BCF     FLAG_MOSTRA_DADOS

CALL    AJUSTE_DECIMAL

BCF     RS
MOVLW   0XCB
CALL    ESCREVE
BSF     RS
MOVF    CENTENA,W
ADDLW   0X30
CALL    ESCREVE
MOVF    DEZENA,W
ADDLW   0X30
CALL    ESCREVE
MOVF    UNIDADE,W
ADDLW   0X30
CALL    ESCREVE
BANK1
BTFSS   TXSTA,TRMT
GOTO    $-1
BANK0
MOVWF   TXREG
RETURN
RETURN


ADIQUIRIR_DADOS

BCF     TELA_PRINCIPAL                  ;LIMPA FLAG PARA MOSTRAR TELA PRINCIPAL

        BCF     RS                                      ;SELECIONA DISPLAY PARA COMANDO
        MOVLW   0X01                    ;ESPERA COMANDO PARA
        CALL    ESCREVE                 ;LIMPA TELA
        MOVLW   .1
        CALL    DELAY_MS                ;DELAY 1MS

        MOVLW   0X80                    ; COMANDO PARA POSICIONAR O CURSOR
        CALL    ESCREVE                 ;LINHA 0/ COLUNA 2
```

```
                BSF             RS

                MOVLW   'A'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'Q'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'U'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'I'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'S'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'I'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'C'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'A'
                CALL    ESCREVE
                MOVLW   'O'
                CALL    ESCREVE                                         ;SELECIONA DISPLAY PARA DADOS

LOOP

BSF             ADCON0,GO
BTFSC           ADCON0,GO
GOTO            $-1
MOVF            ADRESH,W
;MOVWF          TMR0
MOVWF           mulplr
;ADDWF          AUX_TMR0,TMR0           ;TESTAR SE ULTRAPASSOU A TENS�O M�XIMA

MOVLW           .50
MOVWF           mulcnd

CALL            mpy_F

MOVF            H_byte,W
MOVWF           ACCbHI
MOVF            L_byte,W
MOVWF           ACCbLO

CLRF            ACCaHI
MOVLW           .255
MOVWF           ACCaLO

CALL            D_divF

MOVF            ACCbLO,W
CALL            AJUSTE_DECIMAL

BCF             RS
MOVLW           0XC3
CALL            ESCREVE
BSF             RS

MOVF            DEZENA,W
ADDLW           0X30
;CALL           JOGAR_NA_PARALELA
CALL            ESCREVE
MOVLW           ','
CALL            ESCREVE
MOVF            UNIDADE,W
ADDLW           0X30
;CALL           JOGAR_NA_PARALELA
CALL            ESCREVE
BTFSC           BOTAO_5
RETURN
GOTO            LOOP


JOGAR_NA_PARALELA
BSF             PC
NOP
BCF             PC
RETURN

;*********************************************************************
;*                                                                   INICIO DO PROGRAMA
                *
;*********************************************************************
INICIO



;               CLRF            PORTA
;               CLRF            PORTB
;               CLRF            PORTC
;               CLRF            PORTD
;               CLRF            PORTE



BANK1                                           ;ALTERA PARA O BANCO 1
```

```
            MOVLW   B'11111111'   ;IN: RA4 , OUT:RA0,RA1,RA2,RA3
            MOVWF   TRISA                 ;CONFIGURA ENTRADAS E SA�DAS DA PORTA A
            MOVLW   B'11111111'   ;IN:RB0,RB1, OUT: RB2,RB3,RB4,RB5,RB6,RB7
            MOVWF   TRISB                 ;CONFIGURA ENTRADAS E SA�DAS DA PORTA B
            MOVLW   B'11011011'
            MOVWF   OPTION_REG            ;DEFINE OP��ES DE OPERA��O
            MOVLW   B'10011000'   ;
            MOVWF   INTCON                ;DEFINE OP��ES DE INTERRUP��O


            MOVLW   B'01000000'   ;IN:RB0,RB1, OUT: RB2,RB3,RB4,RB5,RB6,RB7
            MOVWF   TRISC                 ;CONFIGURA ENTRADAS E SA�DAS DA PORTA B

            MOVLW   B'00000000'   ;IN:RB0,RB1, OUT: RB2,RB3,RB4,RB5,RB6,RB7
            MOVWF   TRISD

            MOVLW   B'00000100'   ;IN:RB0,RB1, OUT: RB2,RB3,RB4,RB5,RB6,RB7
            MOVWF   TRISE

            MOVLW   B'00001110'   ;
            MOVWF   ADCON1

            MOVLW   B'00000010'   ;
            MOVWF   PIE1



BANK0                               ;ALTERA PARA O BANCO 0

            ;PARA ESCREVER EM HEXA: 0x1F
            ;PARA ESCREVER EM DECIMAL: .132
            ;PARA ESCREVER EM BIN�RIO: B'10010000'
;*****************************************************************************
;*                         INICIALIZA��O DAS VARI�VEIS
;*****************************************************************************

            MOVLW   B'01000001'
            MOVWF   ADCON0
            MOVLW   B'000000'     ;IN:RB0,RB1, OUT: RB2,RB3,RB4,RB5,RB6,RB7
            MOVWF   T1CON
            CLRF    TMR0          ;ZERA O TIMER
            CLRF    PORTA         ;LIMPA O PORTA
            CLRF    PORTB         ;LIMPA O PORTB
            CLRF    PORTC         ;LIMPA O PORTA
            CLRF    PORTD         ;LIMPA O
            CLRF    PORTE         ;LIMPA O PORTB
;*****************************************************************************
;*                                                                 ROTINA PRINCIPAL
                        *
;*****************************************************************************

MOVLW   FILTRO_TECLA
MOVWF   FILTRO_BOTOES

MOVLW   .1
MOVWF   TEMPO_TURBO


MOVLW   0X20
MOVWF   FSR

LIMPA_RAM
CLRF    INDF
INCF    FSR,F
MOVF    FSR,W
XORLW   0X80
BTFSS   STATUS,Z
GOTO    LIMPA_RAM


BSF     TELA_PRINCIPAL


INICIALIZACAO_DISPLAY
BCF     RS

MOVLW   0X30
CALL    ESCREVE

MOVLW   .3
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X30
CALL    ESCREVE

MOVLW   0X30
CALL    ESCREVE

MOVLW   B'00111000'
CALL    ESCREVE

MOVLW   B'00000001'
CALL    ESCREVE
```

```
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   B'00001100'
CALL    ESCREVE

MOVLW   B'00000110'
CALL    ESCREVE

MOVLW   .20
MOVWF   FILTRO_BOTOES



MAIN

CALL    MOSTRA_TELA_PRINCIPAL

VARRE

BTFSC   BOTAO_1
GOTO    TEXTO_RANGE_1

BTFSC   BOTAO_2
GOTO    TEXTO_RANGE_2

BTFSC   BOTAO_3
GOTO    TEXTO_RANGE_3

BTFSC   BOTAO_4
CALL    ADIQUIRIR_DADOS

GOTO    VARRE




TRATA_BOTAO_0                                   ;INDICA��O DOS SENSORES

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z


DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F


BCF             RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF             RS

MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'O'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'R'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '1'
CALL    ESCREVE

BSF             TELA_PRINCIPAL

MOVLW           .20
MOVWF           FILTRO_BOTOES

RETURN


TEXTO_RANGE_1

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F
```

```
BCF                     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF                     RS

MOVLW   'T'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'O'
CALL    ESCREVE
MOVLW   ' '
CALL    ESCREVE
MOVLW   'M'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'X'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '='
CALL    ESCREVE
MOVLW   '1'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '2'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '0'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'm'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'V'
CALL    ESCREVE

CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS                ;DELA


MOVLW   .194
MOVWF   AUX_TMR0

BSF     TELA_PRINCIPAL



MOVLW   .20
MOVWF   FILTRO_BOTOES


GOTO    MAIN



TEXTO_RANGE_2

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF                     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'T'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
```

```
CALL    ESCREVE
MOVLW   'O'
CALL    ESCREVE
MOVLW   ' '
CALL    ESCREVE
MOVLW   'M'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'X'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '='
CALL    ESCREVE
MOVLW   '1'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '3'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '0'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'm'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'V'
CALL    ESCREVE

CALL    DELAY_MS            ;DELAY DE 1MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS            ;DELAY DE 1MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS            ;DELA


MOVLW   .189
MOVWF   AUX_TMR0



BSF             TELA_PRINCIPAL

MOVLW           .20
MOVWF           FILTRO_BOTOES
GOTO    MAIN



TEXTO_RANGE_3

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF             RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF             RS

MOVLW   'T'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'O'
CALL    ESCREVE
MOVLW   ' '
CALL    ESCREVE
MOVLW   'M'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'X'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '='
CALL    ESCREVE
MOVLW   '1'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '4'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '0'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'm'
```

```
CALL    ESCREVE
MOVLW   'V'
CALL    ESCREVE

CALL    DELAY_MS            ;DELAY DE 1MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS            ;DELAY DE 1MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS
CALL    DELAY_MS            ;DELA


MOVLW   .184
MOVWF   AUX_TMR0

BSF     TELA_PRINCIPAL

MOVLW   .20
MOVWF   FILTRO_BOTOES
GOTO    MAIN


TRATA_BOTAO_1

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0XC8
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'O'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'R'
CALL    ESCREVE
MOVLW   '4'
CALL    ESCREVE

BSF     TELA_PRINCIPAL

MOVLW           .20
MOVWF           FILTRO_BOTOES

RETURN


DESLIGAR_MAQUINA


MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'D'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'T'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'V'
```

```
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'D'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'O'
CALL    ESCREVE

RETURN

PEDIR_SENHA

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'D'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'G'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'T'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   ' '
CALL    ESCREVE
MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'H'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE

RETURN

CERTA_SENHA

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0X80
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'S'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'N'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'H'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
CALL    ESCREVE
MOVLW   ' '
CALL    ESCREVE
MOVLW   'C'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'E'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'R'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'T'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'A'
```

```
CALL        ESCREVE

RETURN

ERRO_SENHA

MOVF        FILTRO_BOTOES,F
BTFSC       STATUS,Z

DECFSZ      FILTRO_BOTOES,F

BCF         RS
MOVLW       0X01
CALL        ESCREVE
MOVLW       .1
CALL        DELAY_MS

MOVLW       0X80
CALL        ESCREVE
BSF         RS

MOVLW       'E'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'R'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'R'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'O'
CALL        ESCREVE
MOVLW       ' '
CALL        ESCREVE
MOVLW       'S'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'E'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'N'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'H'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'A'
CALL        ESCREVE

RETURN



SISTEMA_ATIVO

MOVF        FILTRO_BOTOES,F
BTFSC       STATUS,Z

DECFSZ      FILTRO_BOTOES,F

BCF         RS
MOVLW       0X01
CALL        ESCREVE
MOVLW       .1
CALL        DELAY_MS

MOVLW       0X80
CALL        ESCREVE
BSF         RS

MOVLW       'S'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'I'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'S'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'T'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'E'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'M'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'A'
CALL        ESCREVE
MOVLW       ' '
CALL        ESCREVE
MOVLW       'A'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'T'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'I'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'V'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'O'
CALL        ESCREVE
CALL        DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
;           CALL        DELAY_MS
;           CALL        DELAY_MS
;           CALL        DELAY_MS
```

```
;               CALL        DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS                ;DELAY DE 1MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS
;               CALL        DELAY_MS

RETURN



SISTEMA_DESATIVADO

MOVF        FILTRO_BOTOES,F
BTFSC       STATUS,Z

DECFSZ      FILTRO_BOTOES,F

BCF         RS
MOVLW       0X01
CALL        ESCREVE
MOVLW       .1
CALL        DELAY_MS

MOVLW       0X80
CALL        ESCREVE
BSF         RS

MOVLW       'S'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'I'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'S'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'T'
CALL        ESCREVE
MOVLW       '.'
CALL        ESCREVE
MOVLW       ' '
CALL        ESCREVE
MOVLW       'D'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'E'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'S'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'A'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'T'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'I'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'V'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'A'
CALL        ESCREVE
MOVLW       'D'
CALL        ESCREVE
MOVLW       '0'
CALL        ESCREVE

RETURN



TEMPO_ESPERA_5

MOVF        FILTRO_BOTOES,F
BTFSC       STATUS,Z

DECFSZ      FILTRO_BOTOES,F

BCF                     RS
MOVLW       0X01
CALL        ESCREVE
MOVLW       .1
CALL        DELAY_MS
```

```
MOVLW   0XC6
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
RETURN


TEMPO_ESPERA_4

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0XC6
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
RETURN


TEMPO_ESPERA_3

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0XC6
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
RETURN


TEMPO_ESPERA_2

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0XC6
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE
```

```
RETURN



TEMPO_ESPERA_1

MOVF    FILTRO_BOTOES,F
BTFSC   STATUS,Z

DECFSZ  FILTRO_BOTOES,F

BCF     RS
MOVLW   0X01
CALL    ESCREVE
MOVLW   .1
CALL    DELAY_MS

MOVLW   0XC6
CALL    ESCREVE
BSF     RS

MOVLW   'I'
CALL    ESCREVE

RETURN


FUNCAO_TEMPO_DE_ESPERA          ;FUN��O PARA DAR UM INERVALO DE ESPERA NO MOMENTO DE DETETAR PRESEN�A OU ATIVAR O
SISTEMA
;BCF             SFLAG
CALL    TEMPO_ESPERA_5
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA

;BCF             SFLAG
CALL    TEMPO_ESPERA_4
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA

BCF             SFLAG
CALL    TEMPO_ESPERA_3
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA

;BCF             SFLAG
CALL    TEMPO_ESPERA_2
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA

;BCF             SFLAG
CALL    TEMPO_ESPERA_1
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA
CALL    DELAY_ESPERA
BCF             SFLAG
RETURN

ESCREVE_X0

BCF     RS                              ;SELECIOANA DISPLAY PARA COMANDOS
MOVLW   0XC1                            ;COMANDO PARA POSICIONAR CURSOR
CALL    ESCREVE                         ;LINHA 1 / COLUNA 0
BSF     RS

MOVLW   'X'
CALL    ESCREVE
RETURN


ESCREVE_X1

BCF     RS                                      ;SELECIOANA DISPLAY PARA COMANDOS
MOVLW   0XC2                            ;COMANDO PARA POSICIONAR CURSOR
CALL    ESCREVE                         ;LINHA 1 / COLUNA 0
BSF     RS

MOVLW   'X'
CALL    ESCREVE
RETURN



ESCREVE_X3

BCF     RS                                      ;SELECIOANA DISPLAY PARA COMANDOS
MOVLW   0XC3                            ;COMANDO PARA POSICIONAR CURSOR
CALL    ESCREVE                         ;LINHA 1 / COLUNA 0
BSF     RS

MOVLW   'X'
```

```
CALL        ESCREVE
RETURN

ESCREVE_X2

BCF         RS                                                  ;SELECIOANA DISPLAY PARA COMANDOS
MOVLW       0XC3                                ;COMANDO PARA POSICIONAR CURSOR
CALL        ESCREVE                             ;LINHA 1 / COLUNA 0
BSF         RS

MOVLW       'X'
CALL        ESCREVE
RETURN

END
```