UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Danilo Fernandes Bispo

CONSTRUÇÃO DE SENSOR SEM FIO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA GELADEIRA EM UMA REDE DOMÉSTICA

Alfenas, 14 de Dezembro de 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

CONSTRUÇÃO DE SENSOR SEM FIO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA GELADEIRA EM UMA REDE DOMÉSTICA

Danilo Fernandes Bispo

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal de Alfenas como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Tomás Dias Sant'Ana

Alfenas, 14 de Dezembro de 2010.

Danilo Fernandes Bispo

CONSTRUÇÃO DE SENSOR SEM FIO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA GELADEIRA EM UMA REDE DOMÉSTICA

A Banca examinadora abaixo assinada aprova a monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Alfenas.

Prof. Dr. Artur Roberto Justiniano Junior

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Msc. Flávio Barbieri Gonzaga

Universidade Federal de Alfenas

Prof. Tomás Dias Sant´ Ana (Orientador)

Universidade Federal de Alfenas

Alfenas, 14 de Dezembro de 2010.

Dedico esse trabalho a Deus e a todos que passaram
pela minha vida, que me guiaram para
esse momento tão importante.

AGRADECIMENTO

Agradeço acima de tudo a DEUS, em todos os momentos da minha vida e não posso deixar de mostrar a minha gratidão nessa conquista.

Aos meus pais, Availdo e Lucilene pelo exemplo de integridade, respeito e dedicação ao meu irmão Douglas, afilhada Mariana e meus tios Lucilane e Alexandre e meu a Avôs pela força e inspiração, a minha namorada Lara e meus amigos pelo companheirismo em todos os momentos, e as demais pessoas que amo pelo apoio.

Aos professores, Tomás, Célio e Juliana, que participaram e contribuíram para que este projeto fosse concluído e banca examinadora disposição de olhar o meu trabalho.

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim."
Chico Xavier

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a construção de um sensor para monitoramento do consumo de energia elétrica por geladeiras em uma rede doméstica, visando a maior economia de tal recurso. Com essa nova tecnologia de monitoramento de consumo a população poderá diminuir o desperdício de energia elétrica pelos eletrodomésticos defeituosos, que traz benefícios tanto para o usuário quanto para a natureza.

Para a realização desse trabalho foi necessário o estudo na área de Física e na área de Ciência da Computação: na física, mais especificamente a física elétrica, para a construção do sensor (*hardware*) e a realização do monitoramento do consumo de eletricidade dos aparelhos eletrônicos. Já na Ciência da Computação com a programação do microcontrolador do sensor e o estabelecimento de comunicação do mesmo com a central de controle utilizando o protocolo *Zigbee* para transmissão de dados. Levando-se sempre em consideração o menor custo possível para atender o maior número de pessoas que se interessem por essa tecnologia.

Palavras-Chave: Domótica, Redes Domésticas, Redes de Sensores sem Fio e automação residencial.

ABSTRACT

This work aims to build a sensor for monitoring electricity consumption by refrigerators on a home network, aimed at greater economy of such an action. With this new monitoring technology to the consumer population may decrease the waste of electricity by faulty appliances, providing benefits for both the user and for nature.

To accomplish this work was necessary to study in the area of physics and computer science: in physics, specifically the physical power to the sensor construction and completion of the monitoring of electricity consumption of electronic devices. Already in Computer Science with the programming of microcontroller and establishing communication with the same control center using the Zigbee protocol for data transmission. Always taking into account the lowest possible cost to meet the greatest number of people who are interested in this technology.

Keywords: Home Automation, Home Networks, Wireless sensor networks and home automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitetura da especificação HomePNA (Fonte: BOLZANI, 2004). 31
Figura 2: Protocolo *Bluetooth* 40
Figura 3: Topologias permitidas pelo padrão *ZigBee* 42
Figura 4: Exemplo de rede CAN (Fonte: BOLZANI, 2004) 45
Figura 5: Assinantes por Tecnologia - Fonte ABTA (2010) 52
Figura 6: Representação gráfica da taxa de transmissão pelo alcance das tecnologias .. 56
Figura 7: Sensor confeccionado Frente 58
Figura 8: Sensor confeccionado verso 58
Figura 9: Diagrama resumido de um microcontrolador, Fonte: MIYADAIRA (2009) 62
Figura 10: Pinagem do microcontrolador PIC28F4550, Fonte: MIYADAIRA (2009) . 63
Figura 11: Conversor A/D, Fonte: MIYADAIRA (2009) 64
Figura 12: Módulos e seus modelos de antena, fonte: MESSIAS (2008). 65
Figura 13: Camadas do Protocolo ZigBee, fonte: UFJR (2008) 71
Figura 14: Placa CON-USBBEE, fonte MESSIAS (2008) 72
Figura 15: Tela inicial do aplicativo 73
Figura 16: Tela de Cálculo 74
Figura 17: Tela de visualização de gráfico 74
Figura 18: Tela de geração de relatório 74
Figura 19: Gráfico que indica o consumo (KWh) captado e o dia da coleta 76
Figura 20: Gráfico referente a potência (W/s) obtida no dia 10 76
Figura 21: Gráfico referente a potência (W/s) obtida no dia 10 entre 01:43 e 02:14 77
Figura 22: Gráfico referente ao acumulo da energia consumida no dia 10 de novembro de 2010 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tecnologia de interligação em redes (Fonte: BOLZANI, 2004) 29
Tabela 2: Principais Características dos Padrões Wi-Fi mais utilizados, Fonte: RODRIGUES (2008) 37
Tabela 3: Comparação das principais tecnologias de redes de sensores sem fio, RODRIGUES (2008) 56
Tabela 4: Dados coletados e dias de coleta (Continua).....74
Tabela 5: Nomenclatura dos Pinos, Fonte: MIYADAIRA (2009).....84

LISTA DE ABREVIAÇÕES

ISDN	*Integrated Services Digital Network* (Rede Digital de Serviços Integrados).
RS	Redes de Sensores.
HomePNA	*Home Phoneline Network Alliance (*Aliança das redes em linhas telefônicas domésticas).
PNA	*Phoneline Network Alliance* (Aliança das rede em linhas telefônicas).
UIT	União Internacional de Telecomunicações.
EIA	*Electronic Industries Alliance* (Aliança dos fabricantes de eletrônicos).
CEBus	*Consumer Electronics Bus* (Protocolo de transmissão na rede elétrica).
CSMA	Carrier Sense Multiple Access (Sensor portador de múltiplo acesso).
CDR	*Collision Detection and Resolution* (Detecção de colisões e resolução).
LPC	*Power Line Carrier* (Carregadores de Energia).
WLANs	*Wirelees Local Area Networks* (Redes sem fio locais).
IEEE	*Institute of Electrical and Electronic Engineers* (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos).
WECA	*Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (Aliança de compatibilidade de Ethernet sem fio).
FHSS	*Frequency Hopping Spread Spectrum* (Espectro de propagação de frequência alternada).
DSSS	*Direct Sequence Spread Spectrum* (Espectro de propagação de sequência direta).
OFDM	*Orthoogonal Frequency Division Multiplexing* (Multiplexação ortogonal por divisão de frequência).
FFD	*Full-Function Devices* (Dispositivos de funcionamento completo).
RFD	*Reduced-Function Devices* (Dispositivos de funcionamento reduzido).

PAN	*Personal-Area Network* (Rede de área pessoal).
ISM	*Industrial, Scientific, Medical* (Industrial, Científica, Médica).
IPTV	*Internet Protocol Television* (Procolo de Internet e TV).
TVIP	*Internet Protocol Television* (Procolo de Internet e TV).
CATV	*Cable Television* (TV a cabo).
DES	*Data Encrytion Software* (Software de criptografia de dados).
AO/DI	A*lways On Dynamic* ISDN (ISDN Dinâmico sempre conectado).
Wi-Fi	*Wireless Fidelity* (Fidelidade sem fio).
ISM	*Industrial, Scientifical and Medical* (Controle de redes e dispositivos locais).
CAN	*Controller Area Networks e DeviceNet* (Controle de redes e dispositivos locais).
UPnP	*Universal Plug and Play* (Peças e Plugs Universais).
PIC	Família de microcontroladores fabricados pela Microchip Technology ®

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **15**

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO 16
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO 17
1.3 OBJETIVOS 18
1.3.1 Gerais 18
1.3.2 Específicos 18
1.4 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA 19

AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL **20**

2.1 SISTEMA DE SEGURANÇA 23
2.2 ENTRETENIMENTO 24
2.3 CONTROLE DE ILUMINAÇÃO 24
2.4 AR CONDICIONADO E AQUECIMENTO 25
2.5 SERVIÇOS INTELIGENTES 25
2.6 FUNCIONALIDADES AUXILIARES 25
2.7 HOME OFFICE 26

TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO EM REDES SEM FIO **28**

3.1 PROTOCOLOS E MEIOS DE COMUNICAÇÃO 30
3.2 REDE DE DADOS BASEADA NO SISTEMA TELEFÔNICO 31
3.3 REDE BASEADA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 32
3.3.1 Intellon CEBus 34
3.3.2 X-10 35
3.4 REDES SEM FIO 35
3.4.1 IEEE 802.11 36
3.4.2 IR – Infravermelho 38
3.4.3 Bluetooth 39
3.4.4 ZigBee 41
3.5 SOLUÇÕES HÍBRIDAS 44
3.5.1 LonWorks 44
3.5.2 CAN – *Controller Area Networks e DeviceNet* 45
3.5.3 UPnP - *Universal Plug and Play* 46

ELETRICIDADE **47**

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO **50**

5.1 ESCOLHA DA TECNOLOGIA DE INTERLIGAÇÃO 50
5.1.1 Redes cabeadas (*wired lines*) 51
5.1.2 Redes sem fio (*wireless*) 54
5.1.3 Breve Comparação 55
5.2 MATERIAL UTILIZADO 57
5.2.1 Multímetro 59

5.2.2 Placa do Circuito 59
5.2.3 Resistores 60
5.2.4 Cristal KDS 24 MHz 60
5.2.5 Socket de microcontrolador 60
5.2.6 Botão 61
5.2.7 Capacitores 61
5.2.8 LEDs 61
5.2.9 Porta USB 62
5.2.10 Plug 62
5.2.11 Microcontrolador 62
5.2.12 Módulo XBee ZB XB24-z7WIT antena FIO 65
5.2.13 Adaptador PROTO-BEE versão 5.0v 65
5.3 CONSTRUÇÃO 66
5.3.1 Desenvolvimento do circuito impresso 66
5.3.2 Programação do microcontrolador – PIC 18F4550 67
5.3.3 Configuração do módulo de comunicação 67
5.4 FUNCIONAMENTO 68
5.5 COMUNICAÇÃO 69
5.6 TESTES REALIZADOS 71
5.7 DIFICULDADES ENCONTRADAS 78
CONCLUSÕES 79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81
ANEXOS 84
8.1 ANEXO I 84
8.2 ANEXO II 87

1 Introdução

Neste capítulo será apresentada uma visão geral sobre o tema que será tratado. Na Seção 1.1 são apresentadas a justificativa e a motivação do trabalho. Na Seção 1.2 é apresentado o problema que envolve o tema proposto. Na Seção 1.3 são mostrados quais são os objetivos deste trabalho já na seção 1.4 é mostrada a organização desta monografia.

A ideia de automação residencial avançou juntamente com as inovações da automação industrial e sua posterior consolidação, vistos os benefícios que a mesma trouxe. Devido ao grande número de aplicações e oportunidades geradas pelo computador pessoal, pelo surgimento da Internet e pela redução dos custos de *hardware*, criou-se uma nova cultura de acesso à informação digitalizada. Esses fatores permitiram elevar o projeto elétrico de seu nível convencional para um superior, no qual todas as suas funções desenvolvidas estejam integradas e trabalhando em conjunto (BOLZANI, 2004).

O gerenciamento do consumo de energia e água, os controles de iluminação, acesso, climatização, comunicação, informática, etc, integrados e comandados por um sistema de automação, vem deixando o ambiente de trabalho no edifício mais eficiente, produtivo, prático e saudável. Como consequência, esses benefícios contribuem para o aumento da produção, reduzindo, assim os custos operacionais que se refletem em resultados financeiros, sendo este sistema incorporado às edificações industriais, comerciais e, de maneira mais gradativa, no ambiente habitacional. Segundo DIAS (2004), de um modo geral o modelo de casa convencional não satisfaz aos anseios dos moradores, o que se constitui num contra-senso, pois a habitação, por atender às necessidades básicas do ser humano, como de proteção, segurança e bem estar, é considerada como um dos bens de consumo de maior importância para a maioria das famílias. A moradia, o abrigo, o lar, deve ser prazeroso, eficiente, dignificante e, por ser um bem de grande vida útil, flexível às transformações sociais e tecnológicas, deve ser um item que influencia na qualidade de vida de seus moradores.

Neste contexto, destaca-se o uso de sensores para o monitoramento de ambientes e utilização de aparelhos inteligentes, como aqueles que registram variações de temperatura e pressão, os sensores de movimento e posicionamento, dentre outros, dependendo do local que está sendo monitorado. Levando-se em conta o conceito de Domótica (automação residencial), o mais relevante em uma residência inteligente é a integração desses dispositivos, ou seja, a troca de informações dentro das redes de sensores e aparelhos. Desponta nesse setor a rede sem fio e a transmissão por cabo de força (cabos de distribuição de energia). Nesse trabalho será abordada a rede sem fio, devido às facilidades de implantação em um residência não planejada, custo de implantação, mobilidade e crescimento da rede.

1.1 Justificativa e Motivação

Existem diversos modelos de equipamentos de automação residencial no mercado, uma vez que a maioria deles permite que se configure o sistema de iluminação, temporizadores, contatores, sensores de movimento, sensores de nível, miniteclados, câmeras de vídeo e controladores de ambientes personalizados (temperaturas, música e iluminação). Mas, nos estudos realizados não foi encontrado nenhum sensor com o propósito de verificar e monitorar um eletrodoméstico individualmente, existindo no mercado sensores de monitoramento para residências e indústrias como um todo, analisando e monitorando as taxas de consumo. Pode-se citar a empresa CennaTech®, que provê soluções relacionadas a medição de faturamento e qualidade de energia, com foco no desenvolvimento de soluções inteligentes, na elaboração de projetos desde a fase de concepção até o fornecimento de servidores, *software*, redes de comunicação, painéis e dispositivos de medição baseados nas tecnologias ION e *Ruggedcom*, que possui uma vasta gama de dispositivos para esse monitoramento, como o CNTH 6200 - Dispositivo Inteligente de Medição, a linha CNTH 7350, CNTH 7330 e CNTH 7300 - Medidor Compacto de Energia, dentre outros (CENNATECH, 2010).

Quando se fala dos benefícios do monitoramento individual de aparelhos eletrônicos, pensa-se em tempo de vida e menor consumo elétrico. Tem-se esta preocupação devido aos problemas ambientais que assolam o planeta, valendo lembrar que esse produto se encaixará em uma linha do mercado que está em alta: produtos que visam à preservação e diminuição do consumo de recursos energéticos e naturais. Esta tecnologia de monitoramento é, então, um grande aliado de seus usuários na economia de energia elétrica em sua residência, com o monitoramento dos eletrodomésticos e identificação de irregularidades de seu funcionamento.

Pensando na automação residencial, pode-se dizer que é uma vertente em crescimento na rede imobiliária brasileira, pois agrega valor ao imóvel, sendo também um atrativo para os novos compradores (BOLZANI, 2004), popularizando a utilização de redes de sensores, que desempenham diversas funções dentro das residências e condomínios. Tais benefícios validam, assim, a linha de pesquisa nessa área promissora.

Outro aspecto da Domótica que pode se destacar é o fator de inclusão, pois pode oferecer itens de auxílio a pessoas que possuam alguma dificuldade para realizar tarefas simples de seu cotidiano - fazer compras, se movimentar no escuro para acender uma luz, verificar uma janela ou barulho durante a noite. Estes indivíduos podem se valer desta tecnologia como uma ferramenta de auxílio, proporcionando-lhes mais independência e auto-estima, principalmente em relação à segurança, monitoramento, conectividade e *homeoffice,* melhorando sua qualidade de vida.

1.2 Problematização

Como foi exposto anteriormente, o sensor de monitoramento de produtos eletrônicos de forma individual não é muito comum no mercado. Assim, essa análise de consumo de energia e a identificação de possíveis problemas em eletrodomésticos de linha branca (geladeira e microondas) e da linha de

entretenimento (televisão, *hometheater* e computador) não é o foco dos fabricantes atualmente, sendo campo amplo a ser explorado.

Além disso, existe o problema do custo dos sensores e de sua implantação, que é muito alto, o que dificulta a expansão das redes de automação residencial (domótica) de forma igualitária entre todas as classes da população. Sendo assim, não existe no mercado tal sensor que atenda a essas especificações, baixo custo de implantação e físico que monitore eletrodoméstico da linha branca e de entretenimento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Gerais

Desenvolver um sensor, com preço acessível, para o monitoramento de geladeiras que se integre numa rede doméstica autônoma.

1.3.2 Específicos

- Montar um sensor sem fio;
- Analisar e pesquisar protocolo de comunicação entre o sensor e o comando central – *Zigbee* e *Bluetooth*;
- Estabelecer comunicação entre sensor e comando central;
- Armazenar dados que foram transmitidos para posterior consulta de usuários;
- Criar uma aplicação amigável para monitoramento, a partir da central, dos nós dos sensores;
- Avaliar resultados obtidos.

1.4 Organização da Monografia

A monografia é dividida em oito capítulos. O primeiro é a "Introdução", que aborda a "Justificativa" e a "Motivação" para se realizar tal trabalho, assim como a "Problematização" que envolve o tema proposto e os "Objetivos" desta pesquisa. Já no Capítulo 2 será descrito o que é a "Automação Residencial". No Capítulo 3 "Tecnologias de Transmissão em Redes sem Fio", fala sobre o sensor em si, suas utilizações, tecnologias de interligação, padrões e características básicas de cada um desses padrões. No Capítulo 4 "Eletricidade" são apresentadas algumas definições importantes sobre a eletricidade. O capítulo 5 descreve o trabalho proposto e seu desenvolvimento, assim como os testes realizados e os resultados encontrados. No término são apresentadas as conclusões desse trabalho, referentes ao Capítulo 6 "Conclusões", as referências utilizadas no trabalho, que são descritas no capítulo 7 "Referências" e no capítulo 8 "Anexos".

2
Automação Residencial

O homem, como ser pensante, sempre buscou a sua evolução, procurando soluções para aumentar seu sucesso ou sobrevivência. Para tal objetivo, adaptou materiais e manufaturou ferramentas e equipamentos para melhor auxiliar nas suas atividades diárias, e a automação sempre seguiu nessa linha. Como exemplo, podemos citar o uso de roda d' água na automação do processo de moagem, serrarias e ferrarias. Assim pode-se definir automação "como qualquer processo que auxilie o ser humano em suas tarefas" (Teza, 2002). Entretanto, a partir do século XVIII, a ciência ingressou em um constante processo de evolução. Esta desencadeou uma série de novas tecnologias, transformando, de forma rápida, a vida do homem, sobretudo, no modo de produzir mercadorias, acelerando assim o desenvolvimento do sistema capitalista. Com esse desenvolvimento surgiram os motores a vapor e à combustão interna, ocorrendo uma grande revolução no processo de manufatura, que deixou de ser artesanal para se tornar industrial, caracterizando assim a "Primeira Revolução Industrial".

Mesmo durante essa transição, a busca por melhorias na produção, deixando as atividades mais eficientes, nunca foi deixada de lado. Frederick Winslow Taylor, americano da Filadélfia que foi um dos fundadores da administração científica, por exemplo, propunha menor desperdício de material e de tempo, padronizando o processo fabril em uma indústria (CHIAVENATO, 2004), que juntamente com Henry Ford e Henri Fayol impulsionaram a produção em alta escala. Deixou-se, então, o produto industrializado mais barato e novas tecnologias eram difundidas a cada ano. Nesse contexto histórico, surgiu o conceito de automação industrial.

Segundo SEIXAS (2005) a automação industrial consiste em técnicas que visam aperfeiçoar um processo ou negócio, aumentando sua produtividade,

promovendo o *empowerment*, ou seja, proporcionar as informações necessárias para decidir e organizar o sistema da força de trabalho humana, com todo foco nos ativos de produção e nos especialistas envolvidos nas atividades de operação, manutenção e gerenciamento do negócio, restituindo ao homem sua condição de ser pensante no processo industrial.

A automação industrial foi uma saída encontrada para aumentar a produção e assegurar um alto nível de qualidade, reduzindo os gastos de matéria prima e material humano. Todavia, essa técnica foi mais difundida na "Segunda Revolução Industrial", com a redução de custos dos componentes eletrônicos e o surgimento dos microcontroladores, que possibilitavam menor dependência de intervenção humana.

Seguindo em paralelo a automação, ocorreu em todo mundo uma chuva de inovações, mudando os hábitos da população, sendo que todos os grupos sociais foram influenciados por essas mudanças, com destaque especial para computação pervasiva (uma pessoa possui vários componentes eletrônicos e computadores que influenciam ou interage de forma indireta ou até mesmo inconsciente com estes). Essa série de influências e mudanças de comportamento foi denominada "Revolução da Informação" (MATTAR, 2007), como pode ser visto pela inclusão dos eletroeletrônicos e os microcomputadores pessoais nas residências, o que promoveu um maior acesso a informação e popularização de celulares, como consequência dessa revolução.

Tendo, assim, maior acessibilidade a componentes tecnológicos e à informação percebeu-se consequentes alterações em relação às prioridades na eleição da casa ideal. Tornou-se evidente a necessidade da residência ser adaptada e preparada para melhor usufruir os novos desenvolvimentos dos eletroeletrônicos futuros. Pode-se dizer então que a residência vem incorporando novas tecnologias, que visam aumentar a segurança e o conforto, facilitando sua a manutenção, ao mesmo tempo em que visa valorizar o imóvel em transações imobiliárias e aumentar sua vida útil. (MATTAR, 2007).

Vendo os grandes benefícios que a automação proporcionou na indústria, a engenharia civil trouxe esse conceito para os grandes condomínios, com o intuito

de melhorar sua administração (menor esforço humano para o monitoramento desses edifícios) e reduzir os gastos com energia elétrica e recursos hídricos, além de atender essa nova tendência que surgiu a partir revolução da informação.

"A acessibilidade às informações, através das demandas de clientes que, ao fazerem seus investimentos, são muito mais informados e exigentes do que os clientes das décadas passadas. Estes clientes forçam as empresas a se desenvolverem em diferencial competitivo, na tentativa de atrair e reter este público consumidor" (MATTAR, 2007).

Hoje, segundo TERUEL (2008), as soluções de automação residencial utilizam equipamentos microcontrolados que interagem entre si, através de meios de comunicação homogêneos ou heterogêneos, trocando informações e tomando decisões orientadas ao usuário, para assegurar seu conforto, segurança e bem estar. As suas principais áreas de atuação envolvem a climatização, o controle de dispositivos elétricos, o gerenciamento de energia, o entretenimento, a segurança e a Internet, "tendo como grande desafio atual conseguir agrupar todos estes mecanismos num sistema integrado, que possibilite economia, conforto e facilidade de uso." (MATTAR, 2007).

Frente tais benefícios, a procura por esses serviços aumentou e com isso as empresas no ramo imobiliário têm adotado a automação residencial como estratégia de valorização de mercadoria, gerando um diferencial competitivo no mercado. O termo automação residencial – que pode apresentar variantes, como automação doméstica, casa inteligente e domótica – designa e referencia a utilização de processos automatizados em casas, apartamentos e escritórios. A domótica é classificada segundo as três áreas onde o fator complicante está ligado ao nível de automatização dos sistemas e a intensidade com a qual o usuário irá interagir com o sistema. Sendo essas classes:

- Sistemas Autônomos – nessa classe podemos ligar ou desligar um subsistema ou um dispositivo específico de acordo com uma configuração pré-definida realizada pelo fabricante. Porém, nessa configuração, cada dispositivo ou subsistema é tratado independentemente, sem que dois dispositivos tenham relação um com o outro.

- Integração de Sistemas – já nessa classe podemos ter múltiplos subsistemas integrados a um único controlador. Há a limitação de que cada subsistema deve ainda funcionar unicamente. Funciona como um controle remoto estendido a diferentes locais, ou seja, o terminal único com várias funções independentes.
- Residência Inteligente – por fim, nessa classe, o Integrador de Sistemas e o proprietário configuraram as instruções específicas para modificar o uso do produto. Assim, o sistema torna-se um gerenciador, ao invés de apenas um controlador remoto. Os sistemas residenciais inteligentes dependem de comunicação de mão dupla e realimentação de status entre todos os subsistemas para um desempenho aperfeiçoado.

Mesmo assim, para uma boa operabilidade do projeto e do sistema, é necessário o conhecimento prévio da infra-estrutura da residência-alvo, além das necessidades do cliente, para que haja, então, um diagnóstico adequado das modificações estruturais que eventualmente acontecerão e a aquisição de componentes que melhor se adéquam ao plano.

Observando-se as tendências do mercado, podem-se destacar as principais aplicações da domótica em residências modernas ou planos para futuras construções, como apresentado nos tópicos a seguir:

2.1 Sistema de segurança

Com a crescente onda de violência que invade o ambiente urbano, esse, sem dúvida, é o setor que mais cresce na domótica e que se tem mais investimento da classe média brasileira. A gama de produtos nesse setor varia de uma simples câmera que transmite as imagens para um televisor monitorado por uma pessoa, até sistemas modernos com sensores de movimento, calor e som, com câmeras digitais que gravam as imagens diretas em um terminal. Essas informações são processadas e caso ocorra alguma irregularidade, o próprio terminal entra em

contado com os responsáveis - central de polícia e/ou bombeiros, o proprietário e/ou empresa especializada em segurança contratada. A escolha de qual sistema ou qual variação do sistema usar vai depender do valor que se dispõe a se pagar pelos produtos e o nível de segurança que se pretende obter com a implantação do sistema.

2.2 Entretenimento

Nesse setor a domótica se demonstra uma área em crescente expansão, englobando os eletrodomésticos como *Home Theater* e outros na área de áudio e vídeo distribuídos, TV por assinatura e a Internet, fazendo com que esses se integrem e realizem funções básicas, como estipular pré-listas personalizadas de acordo com características de cada morador da casa ou com a sua localização no ambiente, assim como, ligar e desligar em horas determinadas. Contudo, o maior destaque dessa categoria está na integração com outras aplicações em uma casa inteligente, como mensagem e relatórios enviados para o proprietário da residência, a comunicação com aparelhos portáteis como *I-pod*, MP4, celulares e agendas eletrônicas, mantendo o usuário o tempo todo integrado com o ambiente. Outro destaque seria a maneira inteligente e autônoma para coordenar a iluminação, gerando maior conforto e se ajustando com o sistema de áudio e vídeo existente na residência.

2.3 Controle de Iluminação

Essa aplicação em domótica sem dúvida é a mais explorada na arquitetura, pois sistemas inteligentes de iluminação podem acentuar os detalhes arquitetônicos de uma sala ou criar um clima especial, seja ele romântico ou festivo. Podemos também destacar a funcionalidade de Ligar e Desligar automaticamente um conjunto de luzes ou uma luz, que podem ser utilizados na proteção de uma casa

de intrusos, na ausência de seu dono. Porém o fator mais benéfico dessa aplicação é a economia de eletricidade, já que a intensidade de luz é regulada conforme a necessidade permite que as lâmpadas não necessitem de ficar totalmente acesas, como acontece normalmente, e a integração com o sensor de presença que pode apagar no ambiente as luminárias, caso não haja presença humana no local.

2.4 Ar Condicionado e Aquecimento

Esse setor no Brasil ainda é pouco explorado, devido ao fato de que a maioria das residências não possui tais equipamentos e o sistema de distribuição de gás não é muito utilizado (fatores climáticos desfavoráveis). Sendo assim a maioria do uso de sistemas inteligentes fins está em condomínios e edifícios comerciais, permitindo redução no gasto de energia elétrica e melhorando a qualidade do ar nos mesmo, pois também engloba purificadores de ar que fazem a leitura da temperatura e número de partículas sólidas em suspensão, proporcionando maior conforto aos usuários.

2.5 Serviços Inteligentes

Área de aplicação que mais interage com o usuário e também com mais dispositivos. Ela abrange as portas e cortinas automáticas, centrais de vácuo e reconhecimento de voz, fazendo dela a mais diversa e popular entre os usuários.

2.6 Funcionalidades Auxiliares

As funcionalidades auxiliares são uma das áreas mais novas da domótica, abrangendo o controle e distribuição da energia solar, estações climáticas e

irrigação de jardins e hortas de residências. A demanda nessa área está aumentando, devido à procura de residências auto-sustentáveis e produtos ecologicamente corretos.

2.7 Home Office

Segundo TEZA (2002), "a vida moderna do ser humano tem tornado necessária a criação e implementação dos conceitos de *Home Office*, ou escritório doméstico, como substituição ou incremento ao já existente, de forma a disponibilizar serviços ao seu usuário." Com essa nova necessidade, torna-se de fundamental importância a inclusão de uma rede de informação nas residências, não só computadores, mas também a possibilidade de conectar outros eletrônicos de uso doméstico. No estudo, intitulado "*Undress for Success - The Naked Truth about Working From Home*" (12/03/2009), apontou que o governo poderia economizar em torno de US$ 14 bilhões. Segundo os mesmos autores, menos de seis milhões de norte-americanos trabalham regularmente em casa, sendo que mais da metade são profissionais liberais. Usando o censo dos EUA e dados de outros estudos, obteve-se que ao menos outros 33 milhões de norte-americanos poderiam, ou gostariam, de trabalhar em casa.

Acredita-se que as redes domésticas serão a ponte da integração e de convergência entre o PC e os demais equipamentos eletrônicos, fato que inclusive já começa a aparecer em diversos segmentos, devido à facilidade de instalação, configuração e administração (já que a maioria dos usuários está familiarizada com o PC e a interface gráfica) (TEZA, 2002). A adoção de redes domésticas possibilita o compartilhamento de impressoras, modems e outros periféricos e ainda possibilitariam a distribuição e acesso de imagens do sistema de segurança e Internet através da rede, que poderá ser acessada pelos computadores e ou televisores disponíveis na residência.

Pode-se notar que a domótica atua em toda a residência, trazendo maior conforto, segurança, comodidade e economia para quem a utiliza. O maior

problema da domótica é o preço de implantação dessa tecnologia em uma residência - preço médio de implantação de um sistema residencial autônomo, do tipo integração: R$ 4.000,00 - não permitindo que a classe média e baixa tenha acesso. Os valores, segundo TEZA, podem ser reduzidos caso ocorra um estudo durante a realização do projeto e na construção do imóvel, pois, como pode ser visto, tal tecnologia despende,

> "um a 7% do custo total da obra (sem considerar os novos equipamentos) e abrange elétrica, telefonia, áudio, vídeo, controle de acesso, alarme, segurança, ar-condicionado, sensores, *dimmers* para controle da luz, controle remoto inteligente, persianas elétricas, irrigação do jardim, além de conectar a casa com o mundo via Internet, entre outras utilidades. Para automatizar uma residência, o ideal é prever isso na fase de projeto, antes da construção, pois assim é possível prever o cabeamento e instalações. (2002)".

Mesmo com esse problema, o fato de os conceitos de Automação Residencial, ou ainda Ambientes Inteligentes apresentarem-se como futuristas têm um potencial enorme.

3

Tecnologias de Transmissão em Redes sem Fio

Os sensores são dispositivos eletrônicos empregados no monitoramento de determinados ambientes, equipamentos, corpo humano, animais, eventos naturais dentre outras coisas das quais se queira coletar dados, gerando informações que normalmente são grandezas físicas.

Existem diversas áreas de interesse no uso de sensores, tais como: militar, médica, industrial e ambiental.

Para um bom desempenho em monitoramento que utiliza sensor, primeiramente deve-se analisar as informações que se deseja coletar, criando artifícios ou equipamentos para tal finalidade, variando de acordo com a unidade física a ser coletada. Posteriormente, avalia-se a quantidade de sensores que deve ser utilizada em um monitoramento, uma vez que podem ser dispersos e/ou colocados na região, corpo ou ser do qual serão coletadas informações, dependendo das condições do ambiente. Um exemplo da inserção de um sensor é no estudo e monitoramento de animais que estão ameaçados de extinção. Normalmente se utiliza um sensor que é fixado no animal, informando a sua posição (coordenadas).

Porém, quando se trata ambientes é necessária uma quantidade proporcional de sensores para se colher determinada informação em um tempo hábil, como para se determinar a topografia de uma região, uma vez que devem ser utilizados muitos sensores normalmente de forma aleatória sobre o terreno para medir os dados pertinentes. Nesse contexto de vários sensores, levando em consideração suas dispersões, aparece a necessidade da comunicação entre os mesmos ou entre estes e uma central para melhor coleta de dados. Segundo

KRIPPENDORF (1994 apud SILVA, 2006), um modelo de comunicação trata-se de um modelo matemático, para permitir a transmissão de um conjunto de informações quantificáveis de um lugar para outro, através de um ponto A (o emissor) para um ponto B (o receptor). A informação, uma vez codificada em sinais por um emissor, seria transmitida através de um canal (a mídia) para um receptor que processaria a sua decodificação.

Essa comunicação ou redes de sensores (RS) é o próximo item que deve ser analisado, já que ela deve atender a algumas exigências, tais como: rapidez, segurança, escalabilidade, precisão, baixo consumo de energia, tempo de vida da rede, baixo custo, distância entre os sensores, entre vários outros fatores que podem surgir, dependendo do problema ou ambiente que se deseja monitorar.

Segundo SILVA (2006), "Um projeto de telecomunicação além de estar alinhado com as tendências tecnológicas, antes de tudo, deve seguir os preceitos da nova economia da informação para ser factível e ter sucesso. Esse modo de lidar com a informação e transformá-la em um bem de consumo, gerando riquezas, é que vai liderar todo o progresso científico daqui para frente." Pensando nisso existem vários tipos de tecnologias de interligação entre sensores no mercado, como é mostrado na tabela logo abaixo.

Tabela 1: Tecnologia de interligação em redes (Fonte: BOLZANI, 2004)

Redes cabeadas (*wired lines*)	**Redes sem fio (*wireless*)**
ISDN	Microondas
xDSL	Celular
TV a Cabo	Satélite
Powerline	Infravermelho
Fibra Óptica	Radiofrequência

Para BOLZANI (2004) estes meios de interligação são adotados pelos fabricantes de *hardware* e *software,* tendo como base uma política comum, visando o benefício de todos, com o intuito de propiciar interoperabilidade entre projetos e

tendências comerciais, atendendo características e peculiaridades de cada rede. Dentre as preocupações para estabelecer um padrão de tecnologia, destacam-se: tipo de rede física, camadas de protocolos necessárias, soluções concorrentes, possibilidade de desenvolvimento de novos serviços, viabilidade econômica e tecnológica, custo/benefício, interoperabilidade com sistemas existentes, desenvolvimento de *software/hardware* apropriado, possibilidade de utilização de *software/hardware* existente, de acordo com normas internacionais, escalabilidade, segurança de dados, segurança dos usuários, produção de patentes, comparação entre as tecnologias e características do consumidor final.

Contudo, para se garantir uma boa comunicação entre vários dispositivos – sensor com sensor, sensores com central – não basta interconectá-los por uma mídia (antenas e cabos): existe a necessidade de que ambos dispositivos tenham uma "linguagem" para que possa ocorrer uma troca de informação (dados), e segundo TORRES (2001), uma "linguagem" usada pelos dispositivos de uma rede de modo que eles consigam se entender, isto é, trocar dados e informações entre si e o protocolo. Para que todos os dispositivos de uma rede consigam conversar entre si, todos eles deverão estar usando uma mesma linguagem, ou seja, um mesmo protocolo.

3.1 Protocolos e meios de Comunicação

Segundo BOLZANI (2004) a rede doméstica é quem provê a interligação e comunicação entre os equipamentos do usuário, como computadores, dispositivos inteligentes, sensores, atuadores e o *gateway* residencial, como o *cable modem* ou *modem* ADSL. Ainda segundo esse mesmo autor, a rede doméstica precisará ter uma constante comunicação com o restante do mundo. Essa comunicação é necessária devido à quantidade de atividades possíveis com a rede externa. Assim para facilitar essa comunicação interna e externa, devemos analisar a melhor forma possível de comunicação e meios de interligação.

3.2 Rede de Dados Baseada no Sistema Telefônico

A comunicação via rede de telefone, reutiliza a fiação telefônica, sem nenhuma interferência na comunicação de voz, sendo totalmente transparente BOLZANI (2004).

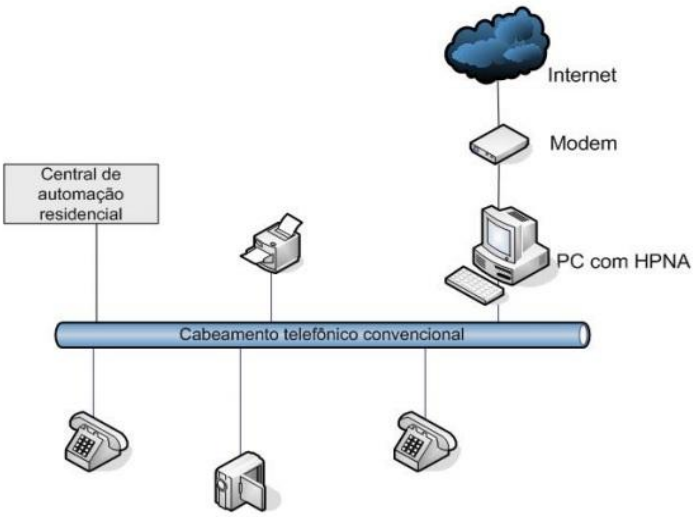

Figura 1: Arquitetura da especificação HomePNA (Fonte: BOLZANI, 2004).

Existem tecnologias como xDSL e ISDN que conseguem taxa de transmissão de 1 Mbps simultaneamente com o serviço de voz, compartilhando acesso à Internet, periféricos, arquivos, aplicações e jogos em rede. Isso representa um desempenho 18 vezes superior aos modems de 56 Kbps, segundo SILVA (2006).

Esse tipo de rede de dados foi padronizado na norma *HomePNA* (*Home Phoneline Network Alliance*, 1999). No mesmo ano de sua criação já foi desenvolvido um padrão industrial de fácil utilização e bom custo benefício chamado de *HomePNA* 1.0. Um ano depois veio o *HomePNA* 2.0 alcançando uma banda de 32

Mbps e utilizando uma faixa de frequência de 2 a 30 MHz. Hoje em dia existe a *HomePN*A 3.1 padronizado em 2005 pela União Internacional de Telecomunicações (UIT), o que permite maior segurança e estabilidade, segundo HomePNA (2006).

Para padronizar esse sistema, os fabricantes adotaram o protocolo TCP/IP e o endereço MAC foi modificado para a HPNA 2.0 MAC, introduzindo oito níveis de prioridade. Mesmo com a diferença de frequência possibilitada pelo conceito de FDM (*Frequency Division Multiplexing*) que faz o compartilhamento comum baseado na colocação de faixas de frequência, segundo BOLZANI (2004) devemos ter algumas preocupações, como:

• O cabeamento telefônico é um conjunto de vários pequenos ramais interligados; assim, ao se tirar/colocar um telefone no cabeamento, modifica-se a impedância, resultando em oscilações.

• Os ruídos causados pelos aparelhos telefônicos podem interferir na transmissão de dados.

• A rede de dados deve funcionar independentemente do funcionamento do sistema telefônico.

Atualmente, a utilização de *HomePNA* é uma boa alternativa apenas quando não existe a possibilidade de se passar um cabeamento próprio para a rede, devido ao preço (SILVA 2006).

3.3 Rede Baseada em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

A tecnologia de transmissão de dados pela rede elétrica é relativamente nova. Teve seu advento há cerca de 30 anos com a babá eletrônica, na qual um microfone capturava ruídos do ambiente, modularizava e transmitia pela rede elétrica. Os sons captados eram convertidos por receptor específico (BOLZANI, 2004).

Depois da babá eletrônica, muitos equipamentos foram capazes de injetar sinais na rede elétrica. Esse avanço só foi possível com o avanço das técnicas de modulação e multiplexação, pois sem isso haveria interferência nos outros equipamentos eletrônicos ligados à rede, transmitindo sinais diferentes sobre um mesmo meio físico. Pôde-se pensar, então, em transmitir dados e informações utilizando os cabos da rede elétrica, como *Powerline Communication*, também conhecido por tecnologia PLC, (BOLZANI 2004).

A utilização de sistema de transmissão de dados hoje em dia é muito procurada, tendo se tornado uma grande vertente de pesquisas das empresas que trabalham em dispositivos inteligentes, pois segundo SILVA (2006) a história de desenvolvimento de redes de dados mostra que sempre foi mais viável modificar o sistema telefônico ou as redes de TV a cabo para as necessidades da economia digital. Entretanto, existem muitos lugares em que os sistemas de telefonia e TV a cabo não são viáveis. Assim sendo, o *Powerline* se apresenta como um dos grandes nichos no mercado atual de redes e automação.

Segundo BOLZANI (2004) essa tecnologia se torna muito atrativa em uma residência, já que, em todos os cômodos, existem tomadas, e é natural e conveniente esse dispositivo ser alimentado por essa fonte, além de se ter as seguintes qualidades:

- Alta velocidade em transmissão;
- Conexão com a Internet;
- Compatibilidade através de *gateways* com outras relevantes soluções de rede;
- Gerenciamento central de todos os dispositivos;
- Instalação rápida e sem cabeamento adicional.

Mesmo com todas essas qualidades, o *Powerline* não se popularizou devido às características da própria rede elétrica, já que a mesma não foi idealizada para transmissão de dados, apresentando, segundo BOLZANI (2004), pontos negativos, como:

• Ruídos: na rede elétrica sem blindagem, são inúmeras as fontes de ruídos, injetados por eletrodomésticos e ruídos de radiofrequência.

• Distância entre os pontos de acesso: quanto mais longe os pontos, maior a atenuação do sinal e a incidência de ruídos.

• Descontinuidade de impedância: ao longo da rede, dependendo se as tomadas estão sendo utilizadas ou não, criam-se pontos de reflexões de sinal e interferência espectral.

• Carga: os eletrodomésticos plugados na tomada, mesmo que desligados, constituem carga resistiva e reativa, dissipando a energia transmitida em alta freqüência.

Os protocolos que utilizam esse meio de transmissão são, por exemplo, *PowerLine Exchange Protocol* (PLX) desenvolvida pelo *INARI®, Powerline Technology* e o *Powerline Bridge* desenvolvida pela *Enikia Company Profile and Articles at International Powerline Communications*®, destacando-se entre elas alguns padrões, como os que serão descritos a seguir.

3.3.1 Intellon CEBus

Desenvolvido pelo EIA (*Electronic Industries Alliance*®) a *Consumer Electronics Bus*® (CEBus) é um padrão aberto que especifica uma arquitetura de rede baseada no modelo OSI e tem como principal objetivo a interconexão em rede de dispositivos utilizando a rede elétrica (BOLZANI, 2004). Uma vez que o CEBus opera em redes ponto a ponto *(peer-to-peer*) é possível o acesso ao meio por qualquer nó a qualquer instante. Deste modo não é necessária a existência de um sistema centralizado de controle, uma vez que para evitar colisões de dados, utiliza-se o protocolo *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution* (CSMA/CDR), impondo ao nó que aguarde até que o meio esteja livre para enviar o pacote. Pode haver vários meios físicos de comunicação, interligando outros serviços e sistemas à rede através de pontes (*bridges*) e roteadores (*routers*) (BOLZANI, 2004), sendo que uma grande vantagem do CEBus é que qualquer dispositivo é capaz de se comunicar

com outro pela rede elétrica, sem a necessidade de se instalar um novo cabeamento. Como o sistema não necessita de um controlador central, torna-se um sistema simples e escalável.

3.3.2 X-10

Desenvolvida por uma firma escocesa conhecida como *Pico Electronics Ltd* e segundo O'DRISCOLL (2001) a tecnologia X-10 PLC (*Power Line Carrier*) foi criada inicialmente para integrar baixo custo e controle de equipamentos. Originalmente unidirecional, podemos adquirir equipamentos bidirecionais em lojas especializadas, sendo os módulos transmissores do X-10 adaptadores que, conectados à tomada de luz, enviam sinais aos módulos receptores para controlar equipamentos simples (O'DRISCOLL, 2001).

O X-10, devido à sua arquitetura muito simples, limita-se ao envio de pacotes quando o nível de tensão AC passa pelo valor zero. O 'um' binário indica a presença de 1ms de um *burst* (rajada de sinal) de 120 KHz no ponto zero de AC. O 'zero' indica a falta desse *burst* SILVA (2006). Limitando-se a uma taxa de transmissão máxima de 60 bps, é indicado para controle de dispositivo cujas falhas na operação não tragam risco para o ambiente ou para os usuários (BOLZANI, 2004).

3.4 Redes sem Fio

Atualmente, cada vez mais usuários, buscam soluções sem fio em lugar de redes com fio convencionais. Segundo BOLZANI (2004) isso acontece devido à facilidade de instalação e, muitas vezes pela inviabilidade do uso de redes cabeadas em obras de *retrofitting* (termo em Inglês, "reformar", mas aqui com um sentido de renovar, customizar, adaptar e melhorar os equipamentos, conforto e possibilidades de uso de um antigo edifício ou residência, sendo expressão muito usada na arquitetura), além da flexibilidade e mobilidade que a rede sem fio proporciona aos seus

usuários, tudo isso aliado com uma redução de custo dos equipamentos. Uma grande desvantagem das WLANs (*Wirelees Local Area Networks*) é a segurança em um sistema com aplicações críticas, já que o sinal transita no ar, não havendo garantia da captação do sinal da rede por pessoas indesejadas.

A tecnologia sem fio consiste na conversão dos dados em ondas de rádio, de várias frequências, ou infravermelho. Esse sinal é enviado para um módulo receptor, que os converte em sinal elétrico, ficando disponível em computador ou em uma rede cabeada. Esse tipo de comunicação possui vários tipos de padrões e alguns deles serão descritos logo abaixo.

3.4.1 IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 ou Wi-Fi, também conhecida como *Wireless* LAN (WLAN), foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa do IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) sendo marca registrada da *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*® (WECA). Esse grupo de desenvolvimento se foca na criação de padrões abertos. Por se tratar de um padrão aberto, possui muitas vantagens, sendo elas: interoperabilidade, baixo custo, demanda de mercado e confiabilidade de projeto.

Este padrão tem como principais áreas de atuação: redes locais internas de residências, empresas, lojas e escritórios, complementando, ou até mesmo substituindo, redes que utilizam cabeamento, seja por praticidade, ou por necessidade, visto que a instalação de cabos e fios é difícil em certos locais e redes públicas de acesso à Internet.

A família 802.11 é subdividida, segundo O'DRISCOLL (2001), em:

- A família 802.11: muito utilizada nas WLANs. Possui uma taxa de 1 ou 2 Mbps com frequência de 2.4 GHz e utiliza o método de transmissão FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) ou DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).
- A família 802.11a: essa família provê até 54 Mbps em 5 GHz. Utiliza o esquema OFDM (*Orthoogonal Frequency Division Multiplexing*) ao invés do

FHSS ou DSSS. Não sendo compatível com o 802.11b e posteriormente substituído pelo padrão 802.11 g.

- A família 802.11b: wirelees LAN, também conhecido de 802.11 *High Rate* ou *Wi-Fi,* consegue taxas de transmissão de até 11 Mbps, utilizando a 2.4 GHz e usa somente a codificação DSSS. O 802.11b é uma extensão do 802.11, sendo compatível às das redes *Ethernets* em funcionamento.
- A família 802.11g: provê taxas de até 20 Mbps, utilizando a frequência de 2.5 GHz, sendo um forte tendência desta substituir as famílias anteriormente citadas.

Atualmente existem algumas alternativas aperfeiçoadas do padrão 802.11 inicial, criado em 1999. A Tabela 2 ilustra as principais características dos padrões Wi-Fi mais utilizados.

Tabela 2: Principais Características dos Padrões Wi-Fi mais utilizados, Fonte: RODRIGUES (2008)

	802.11b	**802.11g**	**802.11n**	**802.11a**
Frequência	2400 – 2483,1 MHz			5150 - 5350 MHz 5470 - 5725 MHz * 5725 - 5850 MHz
Técnica de Modulação	DSSS	DSSS, OFDM	DSSS, OFDM	OFDM
Taxa de Dados	Máximo de 11 Mbps **	Máximo de 54 Mbps	Superiores a 350 Mbps	Máximo de 54Mbps

* O IEEE 802.11h estende este padrão
** Existe um aperfeiçoamento a esta norma que permite alcançar taxas de até 44 Mbps.

Segundo RODRIGUES (2008), as principais vantagens e desvantagens desse padrão em redes de sensores, são:

Vantagens:

- As taxas de transferência de dados são relativamente altas, como mostrado na Tabela 2, principalmente o padrão 802.11n que supera os outros padrões.

- O Alcance desse padrão em campo aberto permite atingir algo em torno de 200 metros, enquanto em campo fechado se alcança no máximo um raio de 50 metros (antenas podem ser agrupadas ao sistema para aumentar essa distância, porém, além de tornar os custos mais altos, ainda elevaria bastante o consumo de energia).
- A Segurança se encontra em um nível satisfatório, devido a seu alto uso em situações críticas, como transações financeiras por exemplo. O protocolo chamado WPA (WPA - *Wi-Fi Protected Access*) é um protocolo de segurança para redes sem fio, desenvolvido para substituir o protocolo WEP, devido a suas falhas de segurança.

Desvantagens:

- O custo de aquisição dessa tecnologia ainda é um pouco alta, devido a sua taxa de transferência ser relativamente grande.
- O consumo de energia bastante relevante, devido a sua alta banda, inviabiliza a alimentação por baterias.

3.4.2 IR – Infravermelho

Esse sistema é muito comum em controles remotos de eletrodomésticos. Nesse contexto a transmissão de dados é realizada por sistemas ponto a ponto, porém existe também rede de infravermelho de sistema ponto a multipontos (celulares). É considerado um sistema simples e de baixo custo, mas possui uma série de complicações devido as suas características, como:

- O sinal é obstruído com facilidade por superfícies sólidas;
- A comunicação entre os dispositivos que gira em torno de 4 metros.

3.4.3 Bluetooth

O *Bluetooth* é uma tecnologia que transmite dados através de sinais de rádio de alta frequência, não alcançando grandes distâncias. Essa tecnologia surgiu com o intuito de ser de baixo custo e baixo consumo de energia. Os componentes eletrônicos necessários para se realizar uma troca de mensagem ocupam uma área pequena, sendo muito utilizado em dispositivos móveis - telefones celulares, *Pocket* PCs e PDAs.

Segundo RODRIGUES (2008) o *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fio de baixo custo que começou a ser desenvolvida em 1994 pela *Ericsson*®, e a partir de 1998 pelo *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), consórcio estabelecido inicialmente pela *Ericsson*®, IBM®, *Sony*®, *Toshiba*®, Intel® e *Nokia*®. Essa tecnologia de comunicação é mais utilizada entre pequenos dispositivos, como telefones celulares, Pocket PCs e PDAs, sendo muito aproveitada para a comunicação de periféricos, como *scanners* e impressoras, ou qualquer dispositivo que possua um chip *bluetooth*. O *Bluetooth* opera dentro da faixa aberta de 2,4 GigaHertz com alcance variável dependendo da categoria e da especificação – a classe 1 pode atingir até 100 metros, já o *bluetooth* da classe 2 dificilmente ultrapassa 10 metros (BOLZANI, 2004).

O *Bluetooth* é formado por um controlador digital, rádio, gerente de enlace, interface de controle e uma biblioteca de programas de aplicação. O rádio opera na faixa de 2.4 GHz com uma potência entre 1 mW a 100 mW. A transmissão de dados é feita através de pacotes em espalhamento espectral de 79 canais, separados de 1MHz, começando em 2.402 GHz e terminando em 2.480 GHz. Na camada de Banda Base, o controlador digital é responsável por construir e decodificar os pacotes de dados, tratar a correção de erros e cuidar da criptografia. O gerente de acesso cria os links entre as conexões e os monitora. O L2CAP gerencia aspectos de alto nível, como a lista de conexões e dispositivos e também opera como uma interface convertendo os dados para a comunicação das camadas mais baixas com a de aplicação, a API (BOLZANI, 2004).

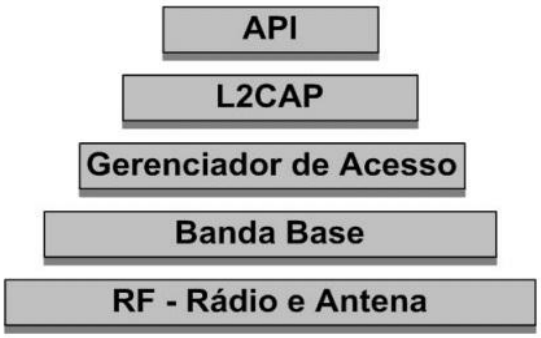

Figura 2: Protocolo *Bluetooth*

Segundo *Bluetooth Specification* (2010), cada dispositivo *Bluetooth* é dotado de um número único de 48 bits, utilizado em sua identificação. São possíveis conexões de até 8 dispositivos, desde que um deles seja mestre (dispositivo principal) e os outros escravos. A frequência do *Bluetooth* é dividida em 79 portas espaçadas de 1 *MegaHertz*. Dessa forma, cada dispositivo pode transmitir dados em 79 diferentes frequências, minimizando as interferências. A tecnologia possui uma banda teórica de 2Mbps e efetiva de 721 Kbps.

Segundo RODRIGUES (2008), as principais vantagens e desvantagens desse padrão em uma rede de sensores são:

Vantagens:

- A transmissão criptografada de seus dados utilizando o protocolo WEP.
- O consumo relativamente baixo se comparado ao Wi-Fi, principalmente quando se encontra no modo *standby* (espera).
- O custo dos dispositivos *Bluetooth* no mercado é baixo devido a grande difusão desse padrão.

Desvantagens:

- O alcance dos dispositivos de *Bluetooth* é limitado.
- A taxa de transferência é razoável, aproximadamente 1Mbps.

- A principal desvantagem para a rede doméstica é a quantidade de usuários, já que o protocolo *Bluetooth* permite apenas 7 usuários conectados a 1 dispositivo principal ao mesmo tempo.

3.4.4 ZigBee

A tecnologia ZigBee, também conhecido como *HomeRF Lite* e que corresponde ao IEEE 802.15.4, é um dos mais novos padrões de conexões sem fio dentre as redes pessoais domésticas, sendo definida no final de 2004 pela "*ZigBee Alliance*" (uma aliança de várias empresas de diversos ramos de tecnologias, como: Philips, Motorola, Siemens e Bosch, dentre 200 outras empresas que compõe a aliança hoje em dia) (ZIGBEE SPECIFICATION, 2010).

O protocolo ZigBee, trata-se de um bom protocolo para redes de sensores, projetado para permitir comunicação sem fio confiável e com baixo consumo de energia, (ZIGBEE SPECIFICATION, 2010).

Essa tecnologia transmite dados, segundo SILVA (2006) baseado no DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) ou Espalhamento Espectral por Sequência Direta. Nesta técnica, de forma simples, temos uma frequência pseudo-randômica de valores "0" e "1", em uma frequência mais elevada, multiplica o sinal original, causando o espalhamento da energia do sinal em uma banda de transmissão mais larga. Essa tecnologia opera na faixa das frequências ISM (*Industrial, Scientifical and Medical,* que não requerem licença para funcionamento), com uma taxa de transferência de dados de até 250kbps em 2.4Ghz (16 canais), 40kbps em 915Mhz (10 canais) e 20kbps em 868Mhz (1 canal). Essa frequência Ainda possibilita a melhor integração e operabilidade entre os diversos dispositivos o ZigBee.

O protocolo *ZigBee* só é definido para suas camadas mais baixas (Camada de Rede, de Enlace e Física, segundo o modelo OSI). As camadas de níveis mais altos podem ser implementadas pela aplicação ou sistema de integração desenvolvido para o dispositivo (FERREIRA, 2009), dependendo do interesse e disponibilidade da equipe de desenvolvimento.

A topologia da rede que utiliza o padrão *ZigBee*, segundo FERREIRA (2009), é baseada em nós, e podem ser configuradas tanto como *peer-to-peer*, como em estrela. Nessa tecnologia existem 2 tipos de nós e uma Variação(PAN - *Persona-Area Network,* mais adiante nesse paragrafo) : o dispositivos de funcionamento completo - FFD (do inglês *Full-Function Devices*) e os dispositivos de funcionamento reduzido - RFD (do inglês *Reduced-Function Devices*). Os FFD podem controlar o envio de mensagens para qualquer dispositivo presente na rede e também podem ser configurados como os coordenadores da rede PAN (*Persona-Area Network*), já os RFD são nós extremamente simples que podem apenas se comunicar com os nós FFD.

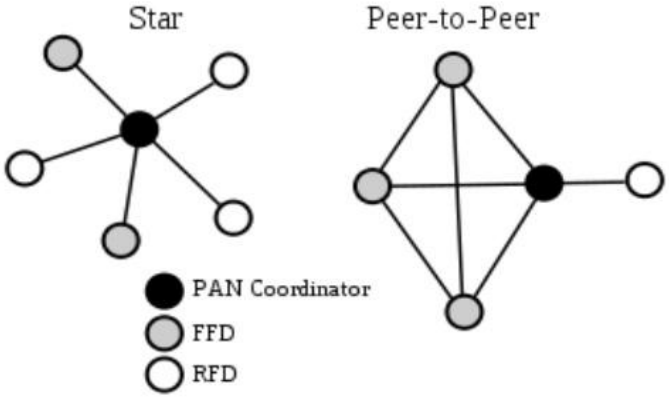

Figura 3: Topologias permitidas pelo padrão *ZigBee*

Em resumo, temos como as principais características:

- Comunicação sem fio com alcance previsto de até 500 metros, uma vez que em modelos mais novos pode alcançar 1.600 metros em campo aberto;
- Frequências de operação entre 868MHz e 2,4Ghz;
- Taxa de transmissão em torno de 250Kbps;
- Baixo consumo de energia;
- Topologia de rede variável.

Segundo (RODRIGUES, 2008), as principais vantagens e desvantagens desse padrão em uma redes de sensores são:

Vantagens:

- O Padrão ZigBee apresenta um ciclo de trabalho muito baixo, ou seja, a fração de tempo em que ele está ativo é mínima. Isso possibilita maior autonomia quando alimentado por baterias, com consequente consumo de energia menor, em relação a outros padrões.
- Permite que os dispositivos permaneçam em "*Sleep Mode*" sem exigência de sincronização.
- Permanecer longos períodos sem comunicação.
- Oferece suporte a topologias de rede tanto estáticas e quanto dinâmicas, sejam elas em estrela, em árvore ou em malha.
- Recurso de encriptação de 128 bits.
- Possibilidade de utilização de redes com até 65535 nós para cada nó coordenador.
- O seu alcance depende diretamente da potência dos equipamentos que implementam o protocolo *ZigBee*, podendo chegar até a 1,6Km (o alcance é diretamente proporcional).

Desvantagem:

- Possui uma baixa taxa de transferência, aproximadamente 200kbps, o que, no trabalho, não é um limitante.
- Por ser uma tecnologia mais recente que as demais, o custo de aquisição de um dispositivo *ZigBee* ainda está relativamente alto, principalmente no Brasil.
- A pilha protocolar de implementação do *ZigBee* é pequena em termos de complexidade, exigindo menores recursos nos dispositivos que a utilizem. Todavia, isso conduz a interfaces de baixo custo.

3.5 Soluções Híbridas

Como o próprio nome já diz as soluções híbridos, que são usados em sistemas de integração de vários tipos redes em uma residência autônoma fazendo a ponte entre as várias tecnologias de interligação. Nesse tipo de sistema podemos destacar os seguintes padrões:

3.5.1 LonWorks

O sistema *LonWorks* é a principal solução de automação residencial. É reconhecido internacionalmente como um padrão de redes de controle inter-operacionais como EIA 709.1, (BOLZANI, 2004), atendendo diversas tecnologias e concorrendo com diversas alternativas de protocolos, além das tradicionais soluções baseadas em PLC (SILVA, 2006).

Na rede *LonWorks* existem dispositivos inteligentes situados em pontos chamados de nós que se comunicam entre si usando um protocolo comum, o *LonTalk*.

O sistema completo é composto pelos módulos e *plug-ins LonPoint*, por um software de integração chamado *LonMaker,* o protocolo *LonTalk* e o *LNS Dynamic Data Exchange Server (*LNS – *LonWorks Network Service)*, todos baseados em LNS *Network Operating System*, uma plataforma que permite vários usuários acessando a rede simultaneamente, (BOLZANI, 2004). O LNS é invisível ao usuário, mas são necessários para a comunicação dos dispositivos.

Nessa topologia, cada dispositivo autônomo (sensores) pode exercer funções na rede, pois o sistema inclui uma interface física que acopla o microcontrolador com o meio de transmissão, que pode ser basicamente qualquer um como radiofrequência, infravermelho, cabo coaxial, fibra óptica, *powerline*, ou par trançado.

3.5.2 CAN – *Controller Area Networks e DeviceNet*

O CAN é um protocolo desenvolvido pela Bosh® e que, a priori, era para ser utilizado na indústria automobilística (início dos anos oitenta). Este protocolo possibilita a comunicação, em tempo real, entre controladores, sensores e atuadores, com até 1 Mbps, utilizando somente um par trançado como linha de dados serial. Com o aperfeiçoamento do protocolo, se tornou muito comum em obras mais novas de residências inteligentes, segundo (SILVA, 2006).

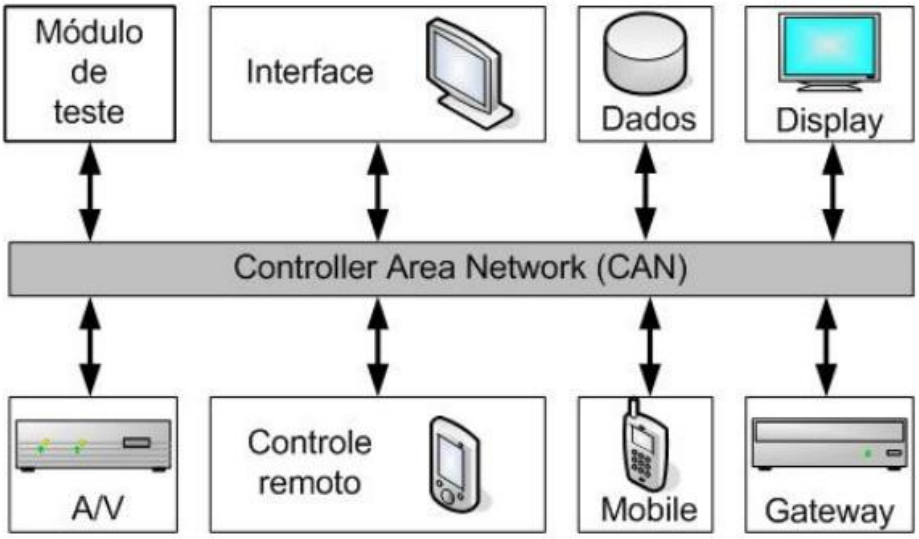

Figura 4: Exemplo de rede CAN (Fonte: BOLZANI, 2004)

O padrão CAN tem sua arquitetura especificada utilizando duas camadas do modelo OSI: a camada física e a de enlace, possibilitando uma maior liberdade aos desenvolvedores durante a implantação do sistema (SILVA, 2006).

Segundo BOLZANI (2004) sistemas que utilizam o CAN tornam-se uma alternativa mais barata de rede de dados para muitas aplicações residenciais, interligando os sensores, atuadores e todo o controle em tempo real de dados através de par trançado, fibra óptica ou cabo coaxial. Porém, nos meios físicos de cobre que utiliza, o protocolo se mostrou mais propício a interferência e com maior detecção de erros e falhas.

3.5.3 UPnP - *Universal Plug and Play*

O UPnP é uma arquitetura de redes direcionada ao ambiente doméstico. Ele tenta utilizar a *plug and play* introduzido em 1992 pela Intel®, Compaq® e Microsoft® tetando manter suas características: transferir arquivos e assistir conteúdo multimídia em qualquer dispositivo em uma rede residencial, conectar equipamento em qualquer segmento da rede, seja ela Ethernet, Wi-Fi, HomePNA, etc., sem que haja problemas de configuração ou incompatibilidade, diminuindo a participação humana na instalação de novos *drivers.*

Segundo BOLZANI (2004), esse sistema possui as seguintes diretivas de funcionamento:

- Padrões abertos: baseado no protocolo IP, compatível com os dispositivos voltados à rede mundial.
- Escalabilidade: permite reaproveitamento de equipamentos.
- *Plug and Play*: a ideia é apenas adquirir o equipamento e conectá-lo na rede.
- Leveza: arquitetura leve, utilizada tanto em PCs como em dispositivos baseados em microcontroladores.
- Integração: fácil integração com dispositivos não IP, bem como de equipamentos de outros fabricantes.

4

Eletricidade

Ao se acender uma lâmpada, ligar um computador ou escutar uma música em aparelho de som, todas essas atividades tem um ponto em comum: o consumo de energia elétrica. Na sociedade moderna a maioria das atividades realizadas depende de alguma maneira, de tal recurso, seja no processo como um todo, seja na fabricação de alguma ferramenta ou produto utilizado. Assim sendo, a energia se torna um integrante indispensável em nossa sociedade tecnológica.

A eletricidade é um fenômeno físico originado por cargas elétricas estáticas, ou em movimento. Esse fenômeno pode acontecer no vácuo ou em materiais (condutores, dielétricos, supercondutores, etc), quando uma série de cargas se deslocam no mesmo sentido, dando origem a uma corrente elétrica. Para se medir o valor de sua intensidade (I) conta-se a quantidade de cargas elétricas (ΔQ) que passam por uma determinada secção transversal do condutor em um intervalo de tempo (Δt), tendo com unidade de medida o Ampère (A [coulomb/s]).

$$I = \Delta Q / \Delta t \qquad \text{Equação(1)}$$

A corrente elétrica é originada a uma diferença de potencial elétrico (medido em volts - V), mais conhecida como tensão elétrica, entre dois pontos separados por uma distância d. Quando essa corrente elétrica acontece em um condutor, mesmo com a quantidade de elétrons livres (característica de um condutor), existe uma oposição ao tráfego das cargas elétricas sendo ela originada dos choques entre elétrons ou pelos elétrons sendo atraídos por núcleos positivos. Essa oposição é denominada resistência elétrica, sendo medida em Ohms (Ω) (YOUNG & FREEDMAN, 2006). Quando o comportamento do condutor é linear, a resistência elétrica pode ser calculada pela Equação 2.

$$V = IR$$ Equação (2)

Mas quando imaginamos uma rede elétrica, normalmente, o que vem a nossa cabeça são os aparelhos elétricos e seus respectivos consumos. Sabemos que os aparelhos convertem, geralmente, a energia elétrica em outra forma de energia. No caso da lâmpada incandescente, por exemplo, a energia elétrica é transformada em energia luminosa e térmica. Diante disso, nos deparamos com um novo conceito: a Potência elétrica. Esta pode ser definida como uma grandeza que mede a rapidez com que a energia elétrica é transformada em outra forma de energia. Assim sendo quanto mais energia for transformada em um menor intervalo de tempo, maior será a potência do aparelho, medida em watts (W [joules/s]). A potência é um dos parâmetros usado para estimar o consumo do aparelho, que pode ser calculada pela Equação 3, sendo P (potência) igual ao produto da tensão elétrica (U) pela intensidade (I).

$$P = UI$$ Equação (3)

Para um circuito de corrente alternada, como a tensão e corrente elétrica em uma residencia, o valor da potência equivalente (ou média) é o valor tomado pela integração da onda senoidal em um período completo. Isto resulta em um valor ½. Portanto, a equação 3 deverá ser reescrita na forma:

$$P = \frac{1}{2}UI$$ Equação (4)

Na entrada de eletricidade de uma residência existe um medidor, instalado pela companhia de eletricidade. O objetivo desse aparelho é medir a quantidade de energia elétrica usada na residência durante um período de tempo (normalmente 30 dias). Sabe-se que:

Energia = Potência x Tempo

Portanto, quanto maior for a potência de um aparelho eletrodoméstico e quanto maior for o tempo que ele permanecer ligado, maior será a quantidade de energia elétrica que ele utilizará. O valor registrado no medidor equivale à soma

das energias utilizadas, durante um determinado período, pelos diversos aparelhos instalados na casa. A energia poderia ser medida em joules por tempo (unidade do SI). Em praticamente todos os países do mundo, entretanto, as companhias de eletricidade usam medidores calibrados em kWh.

Equivalência utilizada para conversão:

1 Wh é equivalente a 3.600 joules, portanto 1 kWh = 3 600 000 J.

5
Desenvolvimento do Projeto

Os sensores, como falado no capítulo 3, são dispositivos eletrônicos empregados no monitoramento de determinados ambientes, equipamentos, corpo humano, animais, eventos naturais dentre outros, das quais se queira coletar dados, gerando informações que normalmente são grandezas físicas. No trabalho, mostraremos como foi construído um sensor para medir a intensidade - nossa grandeza física - da corrente que alimenta uma geladeira, uma vez que o mesmo pode ser incluído em uma rede doméstica autônoma, sendo que esses dados coletados são transmitidos para uma central de comando por uma rede sem fio utilizando a tecnologia Zigbee.

O primeiro passo realizado para a construção do sensor foi o estudo do meio físico e do protocolo que foi usado na comunicação, já que essa escolha ditou toda a maneira com a qual foi pensado o projeto.

5.1 Escolha da Tecnologia de Interligação

No capítulo 3 foram listadas algumas tecnologias de interligação entre sensores no mercado, como mostra a tabela 1. Mas na escolha da tecnologia de transmissão e dos protocolos foi necessário analisar alguns critérios que foram divididos em dois grupos:

- **Grupo 1 – Características técnicas da rede:** neste se enquadram a velocidade de transmissão, quantidade de dados a serem transmitidos, segurança, custo e disponibilidade de equipamentos para o desenvolvimento e escalabilidade e quantidade de nós.

- **Grupo 2 - Redes de sensores no ambiente doméstico:** tem-se nesse grupo a flexibilidade às mudanças de localização, a facilidade de integração e inserção de novos membros na rede, a arquitetura e a estética do ambiente.

Nessa etapa de análise, pressupôs-se que a quantidade de dados a serem gerados pelo sensor não seria muito grande, o que se confirmou futuramente. Outra hipótese foi a de que a velocidade de transferência desses dados não seria alta, já que a central não atualizaria os dados instantaneamente e a interação do usuário com sensor através da central seria mínima nessa etapa do projeto. Com essas características formuladas, partimos para análise dos meios de comunicação.

5.1.1 Redes cabeadas (*wired lines*)

Nas redes cabeadas temos os padrões ISDN e xDSL, que utilizam a rede tradicional de telefonia. Analisando essa tecnologia de acordo com as características pertinentes ao Grupo 1, vê-se que elas atendem à maioria dos aspectos, pois grande parte das casas possui rede telefônica implantada. O equipamento para essa tecnologia não possui custo de aquisição elevado e a velocidade e quantidade de dados a serem transmitidos seria suficiente para o sistema. Porém, segundo BOLZANI (2004), a utilização desse tipo de sistema em uma residência inteligente pode não estar conectada a todo momento (*always on*) comprometendo o comando remoto de dispositivos autônomos. Existe a opção AO/DI (*always on Dynamic* ISDN) que possibilita a comunicação de pacotes, porém limitada a 9,2 Kbps, suficiente para correio eletrônico e telemetria básica funcionarem sem interrupção. Entretanto, esta alternativa ocasiona ruídos na rede, interferindo em ambos os sistemas (telefônico e envio de pacotes).

Analisando os aspectos do Grupo 2, averiguou-se que a quantidade de pontos de acesso para atender a quantidade de nós contradiria o quesito de estética. Outro aspecto a se considerar é que a mudança ocorrida em um ambiente doméstico é muito comum - a geladeira mudar de lugar por exemplo - e a instalação de um novo ponto, devido a isso, seria um viés à adesão a essa tecnologia.

Quando se estuda a tecnologia das redes de TV, vê-se que são muito populares nos Estados Unidos e um mercado crescente no Brasil, uma vez que segundo a Associação Brasileira de TV por Assinatura (ABTA, 2010), no 2º Trimestre de 2010 calcula-se um total de 8,42 milhões de clientes de TV por Assinatura, e um total de 3,49 milhões de assinantes de Internet em alta velocidade por esses meios (CATV ou *Cable Television),* destacando-se entre as tecnologias em uso em nosso país (Figura 4).

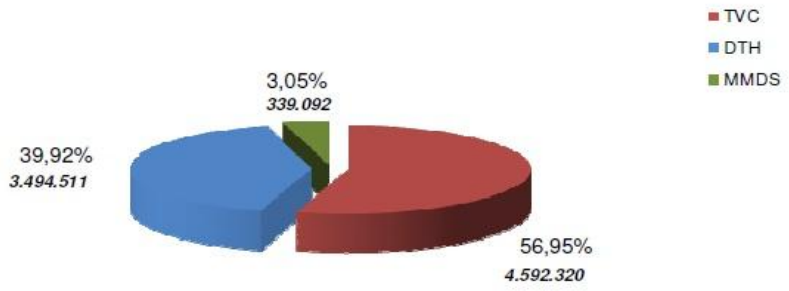

Figura 5: Assinantes por Tecnologia - Fonte ABTA (2010)

Esse meio, apesar de não ser tão difundido quanto o sistema telefônico, apresenta vantagens, como alta taxa de transferência e disponibilidade 24 horas e a segurança, visto que utiliza criptografia por meio de algoritmo criptográfico DES (*Data Encrytion Software*), sendo dois tipos de chave, uma pública e outra privada. Contudo, o custo de aquisição é muito alto. Novamente aparece a questão de mobilidade e flexibilidade na residência, o que não é oferecido pelas redes cabeadas.

Ainda em relação a essas redes, existe grande interesse na utilização da comunicação por rede elétrica ou *Powerline*, pois, mesmo com todos os avanços tecnológicos dos aparelhos eletrônicos, os mesmos ainda necessitam de energia elétrica para funcionarem e haveria um aproveitamento de uma grande malha

presente em todo o país (sistema de distribuição de energia elétrica) superando até mesmo a rede telefônica (BOLZANI, 2004). Esse meio, associado ao trabalho proposto, é muito conveniente e prático devido à possibilidade de se monitorar a rede elétrica e manipular dados na mesma. Podemos salientar, ainda, a grande disponibilidade de pontos de acesso em uma residência, mesmo naquelas nas quais não foram realizados planejamentos prévios para se tornarem uma rede autônoma, diminuindo ainda o custo de implantação. Entretanto, essa tecnologia não é muito comum e seu preço não é compatível com a proposta desse trabalho, sendo necessário um grande gasto para se comprar equipamentos em um momento inicial de filtragem de informação, já que essa tecnologia, segundo BOLZANI (2004) sofre muita interferência da própria rede eletromagnética, gerada por motores elétricos (arcos voltaicos provenientes do atrito das escovas como rotor), além das ondas de baixa frequência, rádio amador de ondas curtas e blindagens mal preparadas por alguns eletrodomésticos. Podemos destacar que, no Brasil, esse sistema ainda caminha em passos curtos. Somente em grandes centros é possível a comunicação de uma rede doméstica, por meio de *Powerline,* com a Internet, uma vez que, em cidades pequenas, pode existir a falta de estrutura de servidores e transformadores de energia compatíveis com essa tecnologia, o que difere de países europeus e os Estados Unidos (BOLZANI, 2004). Esses fatores dificultaram a realização do presente trabalho nessa área.

Por último, para a transmissão de dados em estruturas cabeadas, pode-se lançar mão da fibra óptica que, já de início, pode ser descartada, devido ao seu grande custo de implantação, devida aos altos preços de periféricos, além da dificuldade de conexão entre as fibras, o que impossibilita o crescimento da rede. Pode se salientar, ainda, a fragilidade das fibras sem o encapsulamento adequado, e como seu uso é para alto desempenho, a estrutura seria subutilizada no contexto domiciliar.

Como demonstrado, as redes que utilizam cabos oferecem pouca mobilidade e escalabilidade devido às suas características físicas (pontos de acesso a rede). É evidente que a utilização de qualquer tipo de cabo pode dificultar a implantação dessa tecnologia em ambientes sem planejamento, levando-se em

conta a estética, devido à quantidade de cabos em um ambiente com muitos aparelhos tecnológicos. Partimos, então, para a busca por redes sem fio, descritas no tópico seguinte.

5.1.2 Redes sem fio (*wireless*)

A comunicação sem fio tem ganhado espaço no mercado de transmissão de dados, tanto nas comunicações de longas distâncias, como nos ambientes locais. Segundo BOLZANI (2004) no ambiente residencial, soluções proprietárias em sua maioria, vem sendo utilizadas na comunicação entre dispositivos inteligentes, eliminando os fios, tornando mais flexível e prático o uso desses equipamentos. Uma das vantagens desse tipo de rede para o ambiente residencial é a facilidade de instalação sendo, muitas vezes, uma opção, devido à inviabilidade do uso de redes cabeadas, como no processo de restaurações. Também se destaca pela mobilidade e flexibilidade, atendendo bem aos requisitos do Grupo 2 apresentado no item anterior, um ponto importante relacionado às redes sem fio e sua facilidade de integração com redes híbridas. Dentre as tecnologias de interligação, destacam-se: a comunicação vai satélite (ondas eletromagnéticas), transmissão por infravermelho e radiofrequência.

A transmissão via satélite acontece em ambiente doméstico interligado à residência por meio de um serviço externo, sendo mais comum nos sinais de TV e na disponibilidade de acesso a Internet de banda larga.

A tecnologia de infravermelho foi descartada, mesmo apresentando baixo custo e grande utilização em residências (controles remotos), pois não apresentou características que atendessem às especificações presentes no Grupo 1 (sessão anterior) devido às seguintes propriedades dessa tecnologia:

- O alcance de sinal dificilmente ultrapassa os 4 metros de distância. Em uma residência, os objetos se encontram normalmente a uma distância maior de 4 metros da central, impossibilitando a comunicação.

- O sinal é obstruído com facilidade por superfícies sólidas e até mesmo qualquer objeto que se interponha entre o emissor e o receptor.

A tecnologia de radiofrequência apresentou-se com sendo a melhor escolha, pois apresentava todas as características do Grupo 2: a flexibilidade às mudanças de localização, a facilidade de integração e inserção de novos membros na rede, a arquitetura e a estética do ambiente - característica própria das redes sem fio. As especificações do Grupo 1: a velocidade de transmissão, quantidade de dados a serem transmitidos, segurança, custo e disponibilidade de equipamentos para o desenvolvimento, escalabilidade e quantidade de nós. Uma breve comparação é realizada na secção seguinte sobre padrões de redes sem fio por radiofrequência meio de interligação escolhido.

5.1.3 Breve Comparação

Como foi descrito anteriormente, para o trabalho proposto não se espera uma grande quantidade de dados a serem transmitidos por unidade de tempo, ou seja, esses não precisariam ser transmitidos em alta velocidade. A seguir, apresenta-se uma tabela que com pontos de comparação entre os dados apresentados anteriormente, assim como uma figura que expressa em termos gráficos a taxa de transferência por alcance de sinal.

Tabela 3: Comparação das principais tecnologias de redes de sensores sem fio, RODRIGUES (2008)

Especificação	Banda	Consumo	Pilhas Protocolar	Vantagens	Desvantagens	Principais Aplicações
Wi-Fi	54 Mbps	400 mA – 20 mA (espera)	1 Mb	Elevada taxa de transferên-cia	Consumo de Energia e Preço	Internet, transferên-cia de arquivos em redes sem fio
Bluetooth	1 Mbps	400 mA – 0,20 mA (espera)	250 Kb	Interopera-bilidade e Preço	Alcance e quantidade de nós em uma rede	Dispositi-vos moveis
ZigBee	200 Kbps	30 mA – 20 µA (espera)	32 Kb	Número de nós na rede e consumo de energia	Custo e disponibili-dade de dispositivos	Redes de sensores a bateria

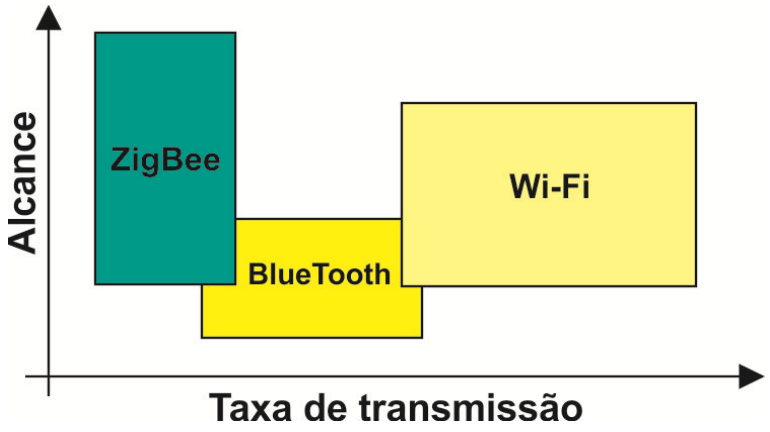

Figura 6: Representação gráfica da taxa de transmissão pelo alcance das tecnologias

Com as características do trabalho e a proposta de se mensurar o consumo de energia elétrica, visando diminuir gastos, nada mais coerente do que utilizar o padrão *ZigBee*. Podemos salientar que a quantidade de nós é quesito importante dessa tecnologia, o que supera seu custo de aquisição, que é sua maior desvantagem. Pode-se destacar, ainda, que essa tecnologia pode ser incorporada aos protocolos híbridos relacionados no item 3.5 desse trabalho.

5.2 Material utilizado

O sensor que foi desenvolvido tem como princípio a captação da intensidade da corrente elétrica que alimenta a geladeira. Primeiramente, para que essa intensidade não sofra ruídos provenientes do sensor, a fonte de alimentação deste está à parte da fonte de energia da geladeira. Outro fator decisivo para essa condição - fontes de energia diferentes entre o sensor e a geladeira - foi que, ao se colocar o sensor em série com a geladeira, existe a necessidade de redução e posterior aumento da tensão elétrica, pois, feito isso, deve-se diminuir a voltagem para 5 volts, para não danificar os componentes eletrônicos do mesmo, e depois aumentar a tensão para 110 ou 220 volts para alimentar a geladeira.

Para tal propósito seria necessário a inclusão de um transformador de pequeno porte, o que deixaria o sensor inviável financeiramente e esteticamente. Com isso em mãos, partiu-se para a elaboração do sensor que capta a intensidade de corrente elétrica. Para isso foram necessários os seguintes dispositivos, identificados na figura abaixo:

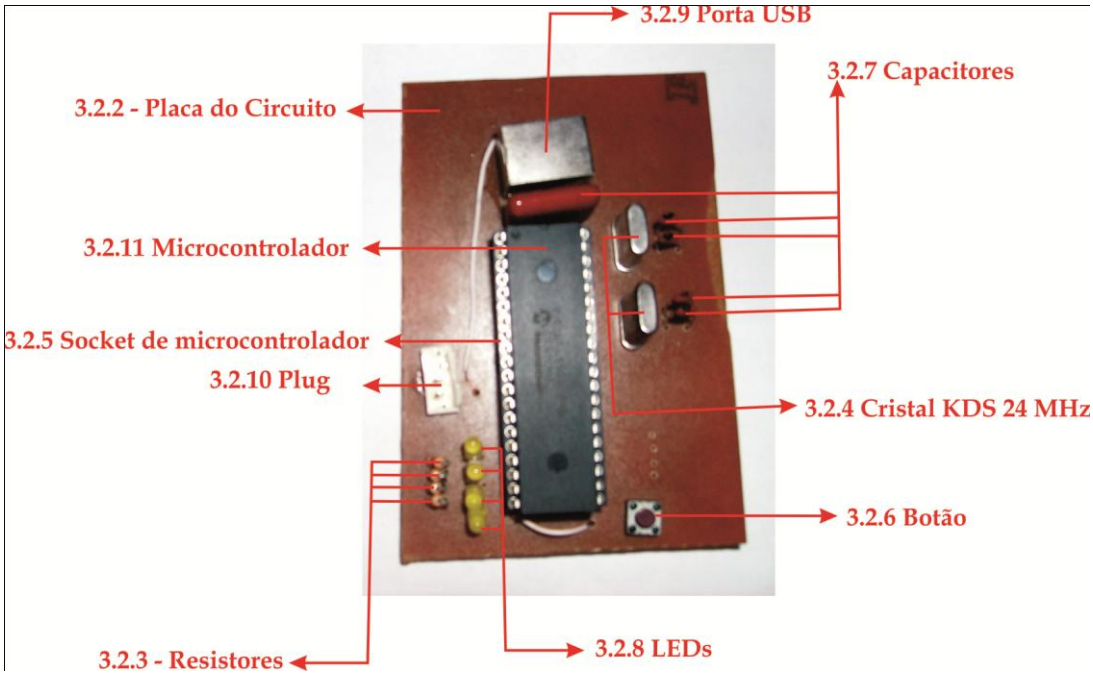

Figura 7: Sensor confeccionado Frente

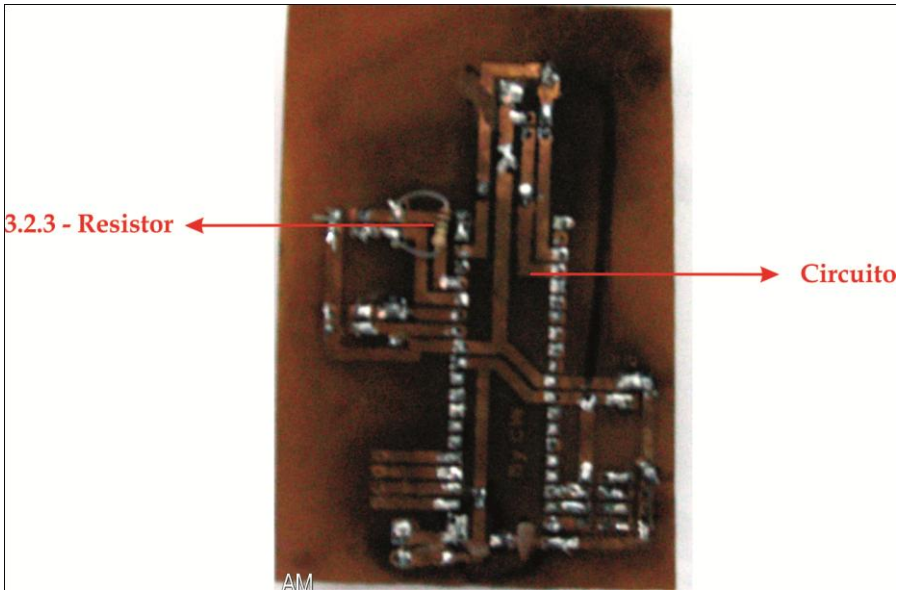

Figura 8: Sensor confeccionado verso

5.2.1 Multímetro

O multímetro analógico é um instrumento indispensável para quem deseja realizar experimentos no segmento da eletroeletrônica.

Com este instrumento de medição, podemos comprovar e mensurar a tensão elétrica (voltagem), a corrente elétrica (sua intensidade em Ampère) e a resistência elétrica (Ohms Ω). Alguns multímetros possuem ainda outras formas de medida como medida de capacitância, sentido da corrente em transistores e diodos, entre outros.

O multímetro analógico é um instrumento que possui um ponteiro montado sobre uma bobina móvel, a qual está fixada no meio de um campo magnético, constituído de um imã permanente. No momento em que uma corrente elétrica percorre o enrolamento da bobina móvel surge um campo magnético na bobina, que interage com o campo magnético do ímã. Dependendo do sentido da corrente elétrica, o ponteiro poderá se movimentar para a direita ou para a esquerda na escala do instrumento (ELETRÔNICA DIGITAL, 2010). A corrente que passa por essa bobina varia entre 0 e 1,5 volts de acordo com a leitura da intensidade realizada da fonte de alimentação da geladeira. Com essa propriedade o multímetro analógico tornou-se uma solução barata e prática para o sensor.

Para que esse equipamento fosse usado no trabalho, foi retirada a agulha indicadora da base da bobina, ligando essa corrente na entrada analógica/digital (AD ou A/D) do microprocessador. Com isso indicar-se-á a intensidade da corrente que alimenta a geladeira. Esse processo de conversão será detalhado posteriormente.

5.2.2 Placa do Circuito

Para o desenvolvimento de um circuito normalmente é necessário: uma placa de fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, filme de poliéster, filmes específicos à base de diversos polímeros, que possuem a superfície coberta numa ou nas duas faces. Esta cobertura consiste em uma fina película de cobre, prata, ou ligas à base

de ouro, níquel, entre outras, nas quais são desenhadas trilhas de material condutor, interligando os componentes eletrônicos.

5.2.3 Resistores

Um resistor é um dispositivo que tem como finalidade transformar energia elétrica em energia térmica, conferindo resistência à passagem da corrente elétrica, funcionando no circuito como limitador da intensidade da corrente elétrica, seja em toda extensão ou em parte daquele (ELETRÔNICA DIGITAL, 2010). No trabalho foram utilizados seis (6) resistores de filme de carbono (popularmente, resistores de carvão). Vale ressaltar que os resistores são classificados pelo material isolante ou semi-isolante, que oferece a resistência, e reconhecidos por faixas de várias cores seu redor. Quatro deles são laranja, laranja, marrom e ouro – que reduz a corrente dos Leds. Há mais um sensor nas cores marrom, preto, verde e ouro – responsável pelo controle da energia do gerador de clock externo (Cristal). Por último, um resistor amarelo, roxo, vermelho e ouro, de controle da corrente do microprocessador.

5.2.4 Cristal KDS 24 MHz

No trabalho foram utilizados dois cristais de oscilação de 24 MHz para gerar *clocks* externos ao microcontrolador, proporcionando maior flexibilidade e maior precisão no mecanismo de sincronização, além de facilitar o sincronismo com os dispositivos de comunicação – porta USB e Módulo XBee ZB XB24-z7WIT antena fio.

5.2.5 Socket de microcontrolador

Socket modelo de 40 vias para PIC , oferecendo suporte ao PIC e conexão com o circuito impresso na placa, evitando maiores danos a esse componente no deslocamento físico da sensor.

5.2.6 Botão

Botão simples para reinicializar o microcontrolador e seus registradores, evitando a retirada da fonte de energia para esse procedimento, prevenindo possíveis danos aos componentes eletrônicos e choque elétrico para quem manipula o sensor.

5.2.7 Capacitores

O capacitor é um componente usado em quase todos os tipos de dispositivos eletrônicos. Ele permite armazenar cargas elétricas na forma de um campo eletrostático e mantê-las durante determinado período, mesmo que a alimentação elétrica seja cortada (característica dos capacitores mais potentes). Os capacitores são usados com a finalidade, mais comum, de retificar e estabilizar a corrente elétrica, evitando que variações possam danificar qualquer dispositivo (ELETRÔNICA DIGITAL, 2010). Existem cinco (5) capacitores que realizam filtragem (estabilização) da corrente em partes diferentes circuito.

O capacitor do modelo 682J OPN de poliéster, filtra a energia proveniente do multímetro e realiza sua leitura, sendo de suma importância para remoção de ruídos significativos de valores que interfeririam na quantificação dos valores analógicos. Existem mais quatro (4) capacitores de cerâmica que limpam os sinais de *clock* dos cristais de oscilação.

5.2.8 LEDs

O LED, ou Diodo Emissor de Luz, desempenha um papel de comunicação com o usuário e com desenvolvedor do sensor, servindo como fonte de informações sobre o comportamento interno do microcontrolador.

5.2.9 Porta USB

Porta de comunicação USB, modelo USB B, comunicação para teste, utilizada como meio de conferência das informações transferidas sem fio.

5.2.10 Plug

Adaptação do *plug* de energia de um *drive* de disquete para interligar fonte de alimentação do sensor (fonte de computador ATX) e o sensor, com tensão de 5 volts modo mais elegante e seguro.

5.2.11 Microcontrolador

Os microcontroladores são pequenos dispositivos dotados de "inteligência", basicamente constituídos de CPU (Unidade Central de Processamento), memória e periféricos (por exemplo portas de entrada e saída – E/S), com dimensões reduzidas, muito presentes em celulares, MP3 player, impressoras, robótica, entre outros equipamentos digitais (MIYADAIRA, 2009).

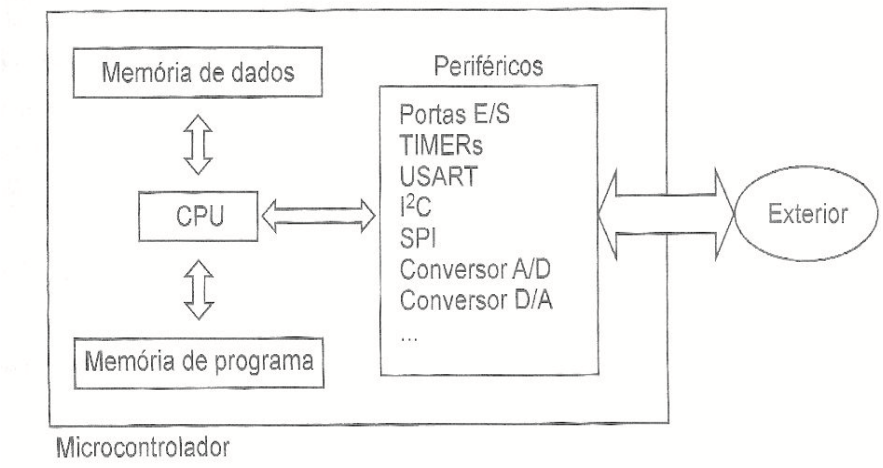

Figura 9: Diagrama resumido de um microcontrolador, Fonte: MIYADAIRA (2009)

No trabalho proposto foi utilizado o microcontrolador PIC18F4550 da Microchip®, que é constituído com base na arquitetura Harvard, com instruções do tipo RISC (Conjunto Reduzido de Instruções). Esse modelo possui 8 bits de barramento interno, com 32 Kbytes de memória de programa e 2.048 Bytes de memória RAM, operando com frequência de ciclos de até 48 MHz (12 MIPS – cerca de 12 Milhões de Instruções Por Segundo), mas pode ser associado a cristais para comunicação interna e também possui um oscilador interno de 8 MHz (variando de 8 MHZ até 31 Khz) (MIYADAIRA, 2009).

Segundo MIYADAIRA (2009), o modelo ainda possui como atributos 40 pinos, dos quais 35 podem ser configurados como portas de entrada e saída (I/O); três conversores de sinal analógico para digital (A/D), sendo este um dos requisitos principais para escolha desse dispositivo; leitura realizada pelo multímetro, além da possibilidade de comunicação com dispositivos externos com uma configuração rápida e sem a necessidade módulo conversores de sinal.

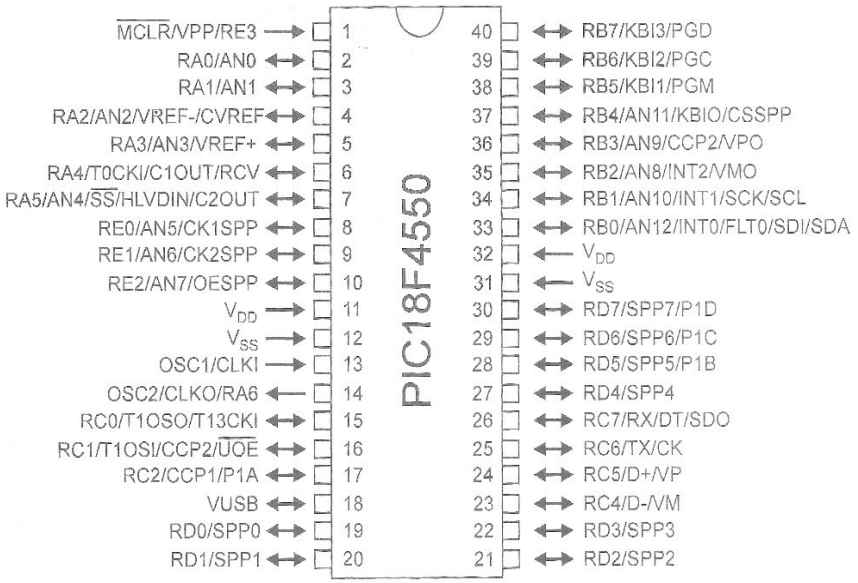

Figura 10: Pinagem do microcontrolador PIC28F4550, Fonte: MIYADAIRA (2009)

Como falado anteriormente, esse microcontrolador possui o sistema de conversão de sinais – ou grandezas - analógicos (temperatura, luminosidade,

umidade etc.) em um valor digital (representação binária) proporcional a ela. Esta conversão depende do valor de referência que é passado ao microcontrolador, que varia entre 0 a ($2^{resolução}$-1). Logo abaixo, a figura representa um exemplo de conversor A/D.

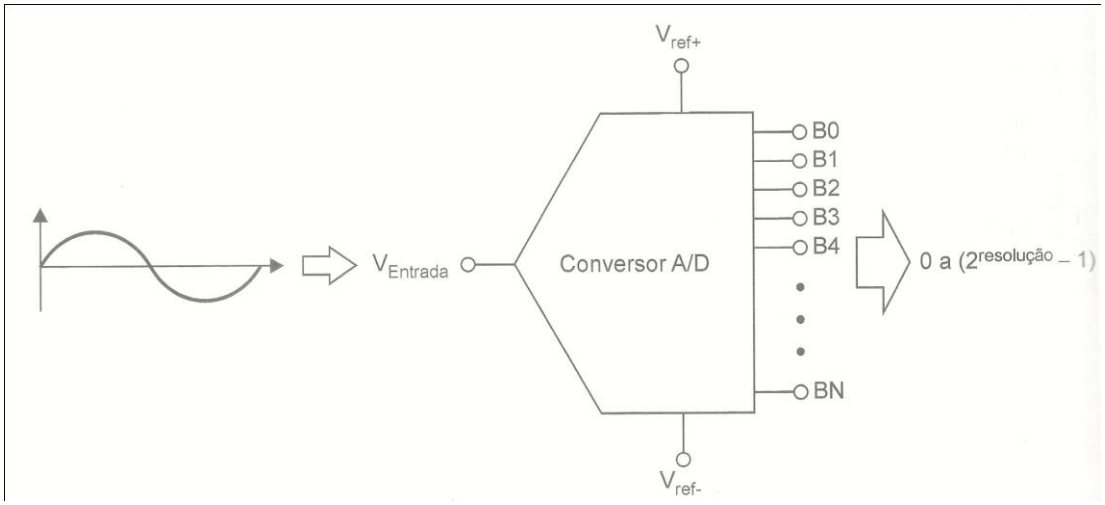

Figura 11: Conversor A/D, Fonte: MIYADAIRA (2009)

O valor final a ser obtido pela conversão pode ser obtido utilizando a seguinte equação:

$$Vunidade = \frac{Vref+ - Vref-}{2^{resolução} - 1}$$ Equação (5)

Os valores correspondentes a Vref+ e Vref- são aqueles de referência (a corrente alternada possuem essa característica) e "resolução" é a quantidade de bits (casas binárias) que o programador queira usar no valor resultante da conversão do sinal, sendo que quanto maior for a quantidade de casas, mais sensível fica a análise do sinal analógico. O valor máximo do PIC18F4550 é de 10 casas binárias ou 1024 faixas de valor diferentes a serem selecionadas (MIYADAIRA, 2009).

5.2.12 Módulo XBee ZB XB24-z7WIT antena FIO

O módulo XBee é um produto da *MaxStream*®, possuindo três modelos de antena: um do tipo chicote (fio de 2,5 cm), escolhida por motivos de disponibilidade imediata para compra; um com conector para antena externa e outra do tipo *chip,* mais compacta.

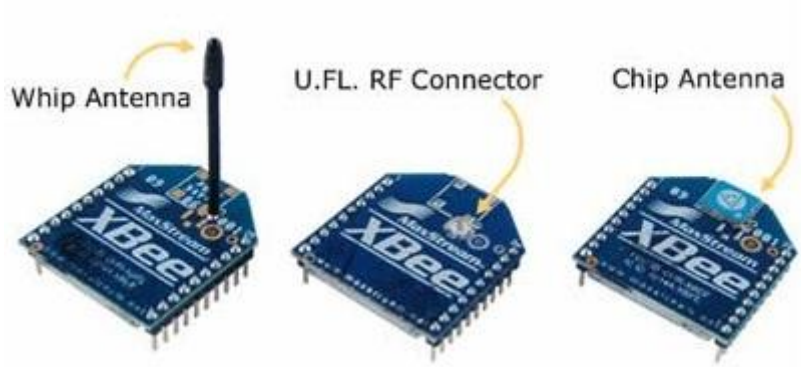

Figura 12: Módulos e seus modelos de antena, fonte: MESSIAS (2008).

Este módulo tem alcance em ambientes internos e nas zonas urbanas de 30 metros, mas em áreas abertas em linha reta este alcance pode atingir de 100 metros. Ele trabalha na frequência ISM 2.4 Ghz, com taxa transferência de dados de RF: 250.000 bps.

O módulo opera em rede com 65.000 endereços disponíveis para cada canal, com a possibilidade de filtros, PAN ID, canais e endereços. Oferece criptografia (128-bit) e atua na faixa de frequência de 2.4000 - 2.4835 GHz.

5.2.13 Adaptador PROTO-BEE versão 5.0v

A PROTO-BEE é uma placa de conexão para os módulos XBee e XBee-Pro® oferecendo várias funções como: adaptar um módulo XBee/XBee-Pro® numa matriz de contatos (*proto-board*) ou placa (PCI); regular uma tensão de 5v a 12v em

3.3v; comunicação dos módulos com uma interface padrão RS232, *jumper* para *Loop Back* e facilidades de interconexão dos módulos com um microcontrolador, ou outros componentes numa matriz de contatos (ROGERCOM, 2010). Essa placa oferece maior comodidade e tranquilidade ao se manipular o sensor, além da segurança extra no controle da intensidade da corrente, protegendo o módulo de comunicação.

5.3 Construção

Com o material selecionado, a construção do sensor foi realizada seguindo as seguintes etapas: desenvolvimento do circuito impresso, programação do microcontrolador – PIC 18F4550 e configuração do módulo de comunicação Módulo XBee ZB XB24-z7WIT antena FIO.

5.3.1 Desenvolvimento do circuito impresso

Para o desenvolvimento do circuito do impresso foi utilizado o editor de imagem Gimp, software livre, para realizar um desenho. Nessa etapa foram escolhidas as portas do microcontrolador que seriam utilizadas, e quais seriam subutilizadas. Essa etapa, assim como as posteriores, foram realizadas pelo discente Ronaldo Gonçalves Gonzaga e pelo prof. Célio Wisniewski do curso de Física da UNIFAL-MG. O desenho das trilhas metálicas do circuito sobrescrito na placa. Com esse desenho já fixado a placa foi imersa em uma solução de ácido clorídrico e água oxigenada para dissolução do cobre da placa não coberto pelo tinta do desenho. Após a retirada da tinta sobrou somente o circuito impresso. Então, a placa foi perfurada para colocação e soldagem dos componentes.

5.3.2 Programação do microcontrolador – PIC 18F4550

Para programar o microcontrolador foi utilizado o ambiente MPLAB IDE da *Microchip*® integrado com o compilador MPLAB C18 também da *Microchip*® todos disponíveis gratuitamente no site da *Microchip Technology*® – www.microchip.com. Esse ambiente proporciona uma maior comodidade e compatibilidade com o microcontrolador escolhido, sem contar com o grande número de documentos de auxílio encontrados acerca desses componentes. Juntamente com esse ambiente e compilador, foi utilizado o gravador de microcontrolador (ou simplesmente gravador de PIC) modelo ICD2^{BR}- *Lab -Tools*®, integrável com o ambiente.

Para a escrita desse programa foi utilizada a linguagem C, em sua maioria, e algumas partes (macros) em *Assembly*, lembrando sempre que existem funções específicas na programação em microcontrolador que não são padrão na linguagem C.

5.3.3 Configuração do módulo de comunicação

Os módulos XBee são configurados através de simples comandos AT, bem parecidos com aqueles utilizados para configurar *Modems*. Nos módulos XBee Série 1, os comandos ATs servem para configurar ou ler parâmetros no módulo local. Já na Série 2, é possível enviar comandos ATs remotamente de um módulo para outro.

Segundo MESSIAS (2008), para configurar um XBee/XBee-Pro, precisamos usar somente os pinos 2-TX, 3-RX e o GND do módulo. Com a placa CON-USBBEE é possível configurar um módulo através do programa X-CTU, tanto a partir da Aba "*Terminal*", digitando os comandos manualmente, como também através da Aba "*Modem Configuration*", ou mesmo através de um programa como o *HyperTerminal* do *Windows*® ou outro similar.

Para fazer o módulo XBee/XBee-Pro entrar no modo comando, deve-se digitar três caracteres "+++" na janela "*Terminal*" do X-CTU ou no *HyperTerminal* do *Windows*®. Se o módulo recebeu o comando corretamente, ele confirma enviando a

mensagem "OK". Após o OK o módulo está apto para receber comandos de escrita ou leitura (MESSIAS, 2008).

5.4 Funcionamento

O funcionamento do sensor começa na leitura realizada pelo multímetro na fonte de energia da geladeira. Nesse momento a corrente elétrica analógica (com frequencia de oscilação de 60 Hz) é convertida, pelo circuito do multímetro, em um sinal contínuo variando entre 0 volt à 1,5 volts. Esse sinal analógico é conectado a porta 3 (AN0) do microcontrolador, através de um resistor. O sinal é analisado e convertido em valor binário (sinal digital) como foi descrito na secção 5.3.11, tendo como valor máximo de referência a tensão de 5,0 volt (alimentação) que atribuído na porta 5 (Vref). O valor binário é armazenado na memória RAM do microcontrolador. Com a análise de 140 amostras por minuto é realizada uma média das intensidades das tensões medidas e o resultado colocado no registrador (res_media). Partimos, então, para o cálculo de consumo. A conversão do valor em corrente elétrica foi feito através de uma calibração prévia do sistema com correntes elétricas de valores conhecidos, isto é, para uma corrente real de 1,75 A, medida com um amperímetro conectado ao circuito da geladeira, o sistema registrou uma tensão média de 1,5 V, durante 1 minuto.

O microcontrolador quando foi programado armazenou uma variável global que é a res_VoltCasa, que armazena a voltagem que a residência utiliza, podendo ser de 110 ou 220 volts, variando de acordo com regiões, devendo ser modificado no momento de gravação do microcontrolador. Com esses dados - média da intensidade e voltagem da fonte de alimentação - é possível realizar o cálculo da potência da geladeira no intervalo de tempo de um minuto (intervalo de tempo) utilizando a secção 4. Com essa potência real armazenada em um registrador, é possível o cálculo do consumo da geladeira, pelo produto da potência encontrada pelo intervalo de tempo.

Os valores medidos são transferidos, junto com um código identificador do PIC, para o módulo de comunicação XBee ZB XB24-z7WIT antena FIO, que por sua vez é passado para a central da residência, um micrompudador.

5.5 Comunicação

A comunicação é um fator de importância em uma casa inteligente, já que a integração, ou seja, troca de informação, é a base da automação residencial. Esse trabalho, como foi dito anteriormente, utiliza o meio sem fio ZigBee como padrão, uma vez que nesse existem dois tipos de dispositivos: FFD e RFD, (Messias, 2008).

O FFD - *Full Function Device* (Dispositivos de Funções Completas) é um dispositivo mais complexo e precisa de um *hardware* mais potente para a implantação da pilha de protocolos, assumindo o papel de Coordenador, roteador ou mesmo de um dispositivo final, se comunicando com qualquer outro componente da rede. Já os RFD - *Reduced Function Device* (Dispositivos de Funções Reduzidas) são mais simples, uma vez que sua pilha de protocolo pode ser implementada usando-se os mínimos recursos possíveis de *hardware*, como por exemplo, em microcontroladores de 8 bits com memória de programa próxima a 6 KB, porém só podem se comunicar com dispositivos FFDs (Coordenador ou Roteador).

Na rede montada no trabalho, limitado pelo número de sensores e pelas características do sensor, foi realizada uma rede *Mash* (Malha ou Ponto-a-Ponto), pois nessa topologia a rede pode se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saída de dispositivos da mesma, propriedade dos módulos e do padrão. Por se auto-organizar para otimizar o tráfego de dados, possuindo vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós, este tipo de rede pode abranger em extensão, uma longa área geográfica, podendo ser implementada numa fábrica com vários galpões distantes, controle de irrigação ou mesmo num prédio com vários andares.

O Padrão ZigBee tem arquitetura de pilha de protocolo que é dividida em camadas, sendo que cada uma delas fornece um conjunto específico de serviços para a camada acima. Uma entidade de dados provê um serviço de transmissão de dados e uma entidade de gerenciamento provê todos os outros serviços.

Cada entidade de serviço expõe uma interface para a camada superior através de um SAP (*Service Access Point*), e cada SAP dá suporte a um conjunto de primitivas de serviço para alcançar a funcionalidade requerida (UFRJ,2008).

A camada física é a transmissão via rádio. Já a Camada de Acesso ao Meio (MAC) realiza o controle de acesso ao canal de rádio usando um mecanismo CSMA-CA. As responsabilidades desta camada também podem incluir a transmissão de "quadros de anúncio" (*beacon frames*), sincronização, e prover um mecanismo de transmissão confiável.

A Aliança ZigBee construiu a camada de rede (NWK - *network*) e a estrutura básica (*framework*) para a camada de aplicação. A estrutura da camada de aplicação consiste da sub-camada de apoio a aplicação (APS – *aplication support sub-layer*) e os objetos de dispositivo ZigBee (ZDO – *ZigBee device objects*). Objetos da aplicação definida pelo fabricante usam a estrutura e compartilham APS e serviço de segurança com o ZDO.

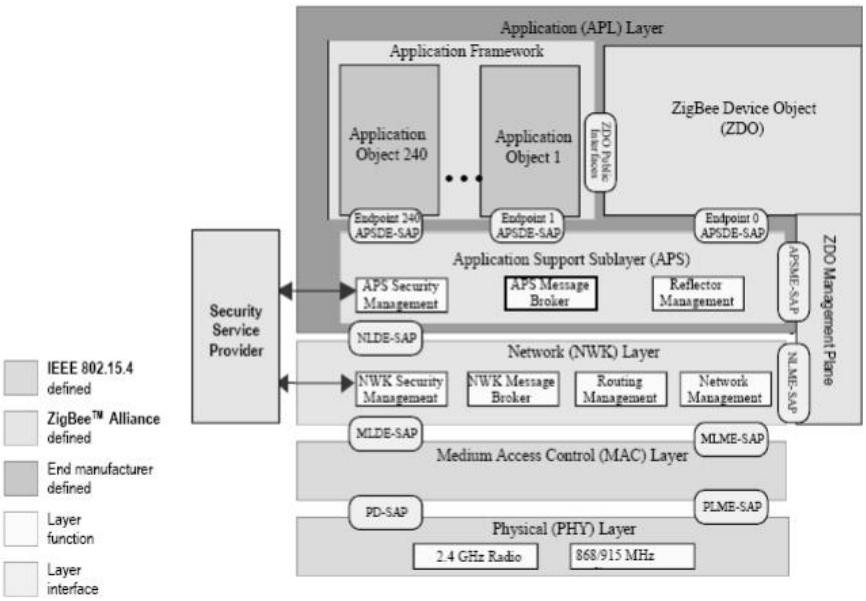

Figura 13: Camadas do Protocolo ZigBee, fonte: UFJR (2008)

5.6 Testes Realizados

Foram realizados testes de captação com o sensor entre os dias 6 de outubro e 16 de Novembro, sendo que estes testes foram divididos em dois momentos. O primeiro foi o monitoramento do consumo de energia elétrica da geladeira com comunicação via cabo USB. O segundo constituiu-se do monitoramento do consumo de energia elétrica da geladeira com comunicação sem fio, sendo o primeiro do dia 6 a 25 de outubro (fase de desenvolvimento da comunicação sem fio, onde se testou a eficiência e precisão do sensor) e logo depois desse período foram iniciados os teste com a rede sem fio. Foram descartados os dados coletados do dia 26 ao dia 4 de novembro, devido a falhas encontradas na comunicação (perdas e redundâncias de informações pelo *software* de recolhimento), assim os dados dos dias 5 até ao dia 16 de novembro foram coletados e analisados.

Para os testes via rede sem fio foram utilizados mais um módulo XBee ZB XB24-z7WIT antena FIO, ligado a um computador por uma placa CON-USBBEE responsável por coletar os dados transmitidos por portas seriais do sensor para o computador via porta USB. O computador nestes testes simula uma central em uma residência inteligente, e existem casos em que o computador pode realmente ser uma central (BOLZANI, 2004).

Figura 14: Placa CON-USBBEE, fonte MESSIAS (2008)

Também foi utilizada para os experimentos uma geladeira *Consul*® do modelo CRA36ANA de 360 litros, que segundo, suas especificações técnicas - que aparecem em uma etiqueta presa na parte de trás do eletrodoméstico – apresenta corrente média de 1,8 A e possui potência de 116 W. Segundo GHISI, WESTPHAL, e LAMBERTS (1998)- ano referente a fabricação da geladeira utilizada nos testes- uma geladeira fica com o motor ligado em média 8 horas por dia, sendo assim esse modelo de geladeira consome por dia em média 928 W (0,928 kW/dia). Para facilitar a análise futura este valor corresponde a 1,94 W por minuto das horas em que seu motor está ligado. Esse modelo não tem a tecnologia *frostfree*, o que causaria diferença na leitura, que nesse momento do trabalho o sensor não atende, já que essa tecnologia acarreta diferença no consumo, necessitando de um ajuste na configuração do sensor.

Para a captação dos dados foi desenvolvida uma aplicação em Java *desktop*, que realizava a leitura das portas USB armazenando as informações provenientes do sensor e capturados pelo módulo CON-USBBEE e XBee ZB XB24-z7WIT antena FIO, tornando o computador uma central (Figura 15).

Figura 15: Tela inicial do aplicativo

As informações armazenadas no banco de dados MySQL®, referentes à leitura da geladeira, foram: número de identificação do sensor, potência média da geladeira calculada pelo sensor e o tempo da coleta em minutos do dia – 0 a 1440 minutos - ficando disponível para futuras consultas do usuário. Sendo possível visualizar o cálculo da energia elétrica consumida pela geladeira (Figura 16) juntamente com as suas variáveis (tempo e potência), além de permitir a visualização dos dados por meio de gráficos - de dados do momento ou coletados anteriormente (Figura 17), ainda sendo possível gerar relatórios, em .txt, de comparação de consumo entre meses de coleta (Figura 18).

Um fator que deve se levar em conta na análise dos dados é que na residência onde a geladeira estava sendo utilizada nesse período, residem cinco pessoas, o que acarreta um grande volume de produtos que são estocados nesse eletrodoméstico, uma vez que estes estão em constante rotatividade, ocasionando um consumo maior de energia. Outro fator é a taxa de temperatura da cidade de Alfenas, que foi elevada nesse período. Estes fatores refletem no consumo de energia e causam reflexo nos resultados. Logo abaixo é apresentada uma tabela e o seu respectivo gráfico, contendo o valor de consumo referente aos dias em que foram coletadas as amostras.

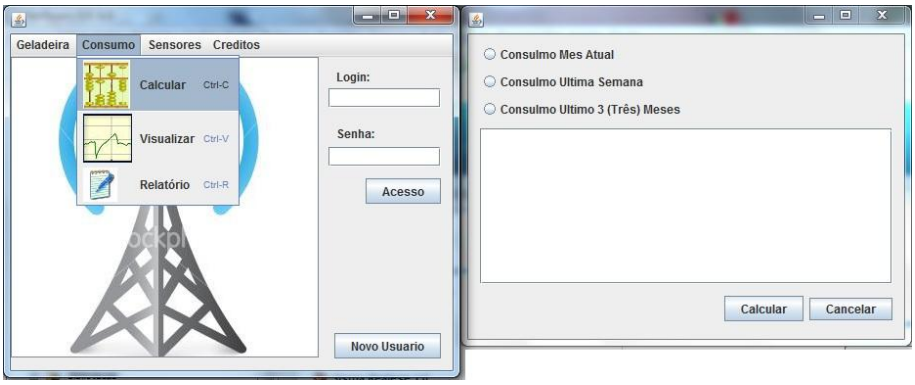

Figura 16: Tela de Cálculo

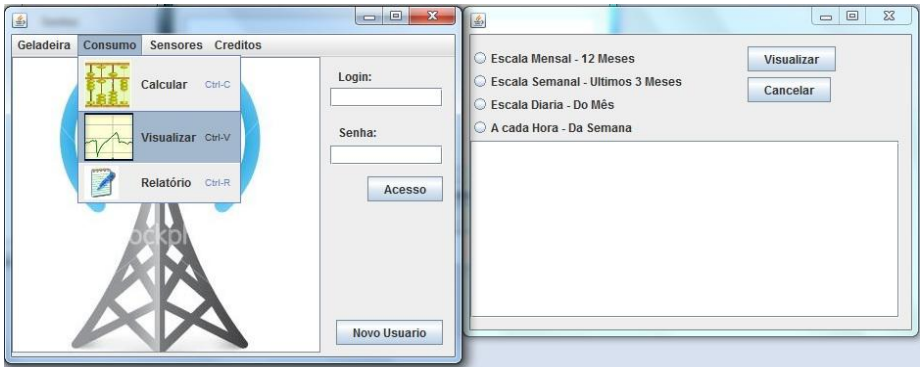

Figura 17: Tela de visualização de gráfico

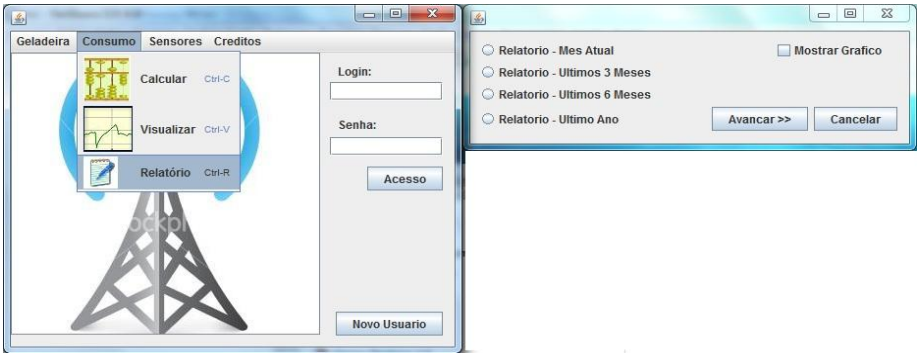

Figura 18: Tela de geração de relatório

Tabela 4: Dados coletados e dias de coleta (Continua)

Energia (KWh)	Dia da Coleta
0,951361252	06/10/10
0,976589521	07/10/10
0,888671418	08/10/10
0,931183253	09/10/10
0,971700934	10/10/10
0,942020458	11/10/10
0,904675925	12/10/10
0,957420438	13/10/10
0,961831822	14/10/10
0,912610597	15/10/10
0,966460982	16/10/10
0,888299584	17/10/10
0,939681886	18/10/10
0,974154780	19/10/10
0,891205595	20/10/10
0,901824517	21/10/10
0,968645820	22/10/10
0,893577313	23/10/10
0,898095192	24/10/10
0,882266779	25/10/10
0,929447878	05/11/10
0,977128477	06/11/10
0,895775722	07/11/10
0,929143632	08/11/10
0,940262624	09/11/10
0,884176060	10/11/10
0,897882915	11/11/10
0,886398396	12/11/10
0,916100083	13/11/10

Tabela 4: Dados coletados e dias de coleta (Conclusão)

Energia (KWh)	Dia da Coleta
0,891224477	14/11/10
0,891100370	15/11/10
0,960987880	16/11/10
29,6	

Figura 19: Gráfico que indica o consumo (KWh) captado e o dia da coleta

Para uma melhor análise é mostrado o gráfico do consumo de energia em função do tempo (minutos) do dia 10 de Novembro (Figura 20), somente no tempo que o motor estava ligado.

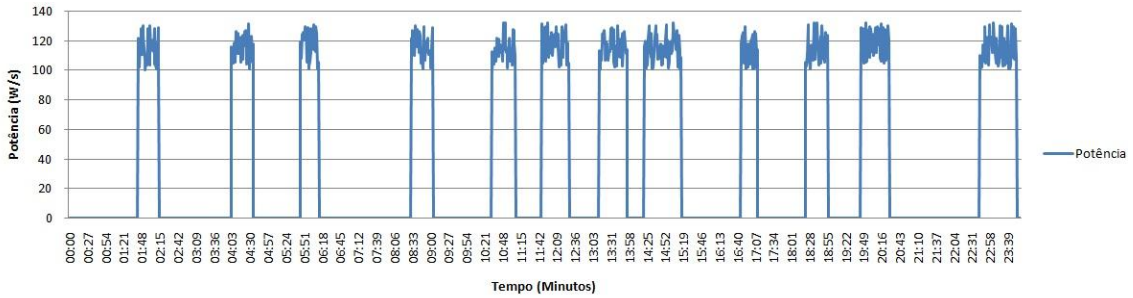

Figura 20: Gráfico referente a potência (W/s) obtida no dia 10

Para melhor visualização um espaço de tempo menor do dia 10 de Novembro para melhor entendimento (Figura 21).

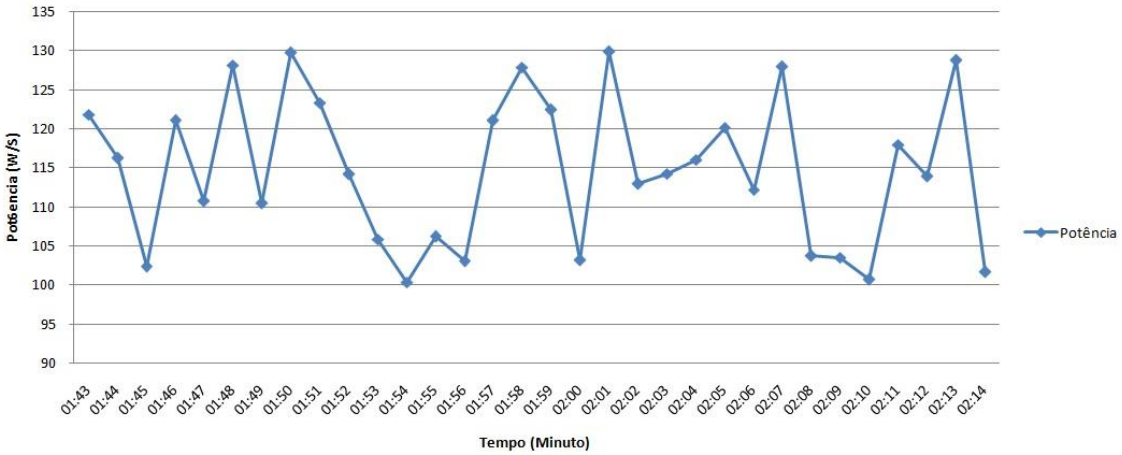

Figura 21: Gráfico referente à potência (W/s) obtida no dia 10 entre 01:43 e 02:14

Logo abaixo é apresentado o consumo do dia 10 de Novembro em sua totalidade (Figura 22), podemos notar um crescimento na taxa de consumo no momento de mais uso da geladeira – 11:00 às 14:00 horas (almoço) e 17:00 às 19:00 (café da tarde).

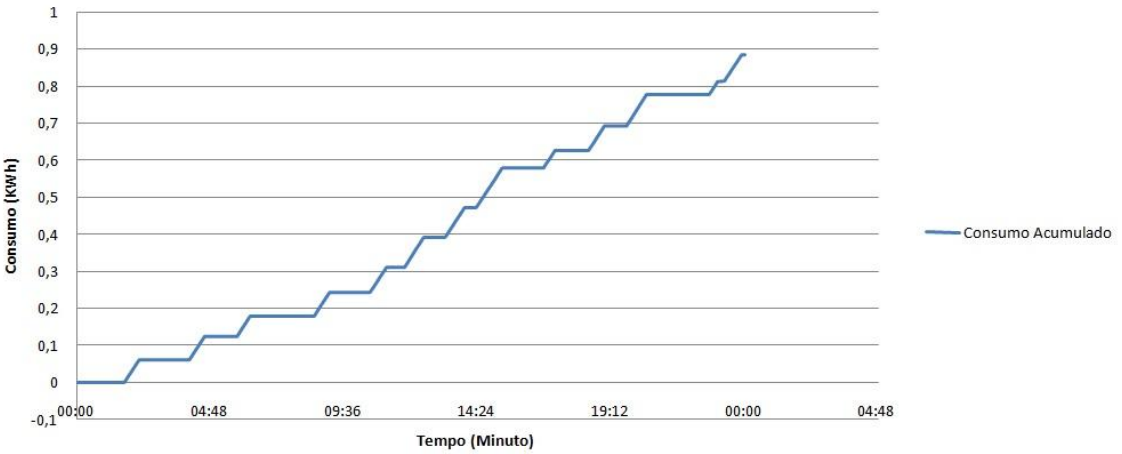

Figura 22: Gráfico referente ao acumulo da energia consumida no dia 10 de novembro de 2010

Assim os resultados encontrados mostram um consumo menor que a média relatada no manual, menor em 5% com desvio em padrão de 5 pontos percentuais, lembrando que esses dados sofreram interferência dos fatores apresentados anteriormente, uma vez que esses fatores não podem ser mensurados devido ao seu caráter humano aleatório. Não podem se descartados ruídos e interferências na rede elétrica, provenientes da inserção de outros dispositivos na rede e como o sensor não capta a diferença de potencial dinâmica (voltagem) o que pode gerar erro, já que o sensor foi configurado para voltagem fixa de 110 V, mas a rede real existe uma oscilação.

5.7 Dificuldades Encontradas

No desenvolvimento deste trabalho, algumas dificuldades ocorreram. A configuração de número de ponto flutuante do PIC e do computador eram diferentes, sendo necessária a análise e mudança de configuração desse padrão no PIC, para maior precisão e para que não houvesse perda de dados.

Houve dificuldade no começo com a configuração do microcontrolador, pois não há na grade curricular uma disciplina que aborde a programação deste dispositivo. Frente a isso, pode-se salientar a existência de funções, com o mesmo nome na linguagem de programação tradicional, utilizadas para diferentes fins no microcontrolador.

A comunicação sem fio despendeu bastante atenção devido ao uso de protocolo diferente do tradicional (TCP/IP), dificuldade esta centrada no tamanho dos pacotes e diferentes informações em cada camada do protocolo.

6
Conclusões

Neste capítulo são apresentadas as conclusões que foram obtidas a partir dos experimentos realizados nesta monografia e são discutidas as propostas futuras que poderão ser realizadas acerca deste tema.

O sensor apresentado neste trabalho atende a maioria das finalidades a que se propôs no início: um sensor que monitora o consumo de energia elétrica de uma geladeira, que se integre com redes sem fio que dão suporte ao protocolo ZigBee.

Por ser um protótipo, o custo de aquisição do sensor não atendeu a expectativa, já que, não é acessível a classes mais necessitadas da nossa sociedade, perdendo um pouco do seu fator de inclusão social, podendo ter menos aceitação no mercado, porém seu custo será minimizado se vier a ser produzido em escala industrial.

Os valores medidos apresentaram ruído excessivo, provavelmente devido a oscilações da rede elétrica residencial e a falta de filtros de linha, que em um produto industrial serão incluídos. Os valores medidos da potência da geladeira foram menores (entre 5% e 15% menores) aos valores do manual. Entretanto, não consta do manual as condições de obtenção destes valores e nem a tensão da rede elétrica foi monitorada. Tomou-se como referencia o valor de 110 V. Este valor costuma oscilar, principalmente em horários de pico de consumo, tanto na residência, quanto do sistema elétrico nacional.

Como propostas futuras é possível que seja abordada maior flexibilidade do sensor podendo atender uma gama maior de eletrodomésticos, assim como uma maior independência do sensor em relação a central, diagnosticando possíveis defeitos e suas soluções nos eletrodomésticos, baseando-se no seu padrão de consumo. Propõe-se ainda uma forma de deixar o sensor com o valor mais acessível, atendendo às classes com menor poder aquisitivo no mercado.

Outra proposta é o monitoramento simultâneo da tensão elétrica da rede e a construção de multímetros dedicados, com várias escalas de medida, para maior precisão dos valores. Além dessas propostas podemos ainda desenvolver um sensor para que este fique acoplado no eletroeletrônico.

7

Referências Bibliográficas

ABTA-Associação Brasileira de TV por Assinatura. Disponível em: <http://tvporassinatura.org.br/>. Acesso em: 15 Out. 2010.

AURESIDE - Associação Brasileira de Automação Residencial. *Tudo sob Controle*. Revista Lumière, jun. 2004. Disponível em: <http://www.aureside.org.br>. Acesso em: 15 Out. 2010.

Bluetooth Specification. Disponível em:<https://www.bluetooth.org>. Acesso em: 15 Out. 2010.

Bolzani, Caio A. M. *Residências Inteligentes: dómotica, redes domésticas e automação residencial* . Livraria da Física: São Paulo, 2004.

CennaTech, *Empresa CennaTech®*. Site Oficial disponivel em: <http://www.cennatech.com.br/sistemas_medicao_produtos.html>. Acesso em 09 Dez. 2010

Chiavenato, I. Introdução à teoria geral da administração. 3Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

Dias, César Luiz de Azevedo. *Domótica: aplicabilidade às edificações residenciais.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, 2004.

Eletrônica Digital. Disponível em: <http://www.eletronicadigital.com/site/instrumentos-medicao/6-multimetro-alogico.html>. Acesso em 01 Nov. 2010.

Ferreira, Eduardo H. Corrêa. *Automação Residencial Utilizando Protocolo CAN*. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

Ghisi, E.; Westphal, F. S.; Lamberts, R. *Determinação do Consumo de Eletricidade e da Potência de Equipamentos através de Medidor Portátil*. UFSC, Santa Catariana , 1998.

HomePNA, HomePNA Existing Wires Home Networking. HomePNA 3.1. 2006, Disponível em <http://www.homepna.org/products/specifications/> acesso em: 15 de Out 2010.

Mattar, Daniela Gonçalves. *Processo de projeto para edifícios residenciais inteligentes e o integrador de sistemas residenciais*. São Carlos, 2007.

Messias, Antônio Rogério. *Controle remoto e aquisição de dados via Xbee/ZigBee*, 2008. Disponivel *:* <http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm >. Acesso em 15 Nov. 2010.

Miyadaira, Alberto Noboru. *Microcontroladores PIC18: aprenda em linguagem*. Érica, 1Ed.. São Paulo, 2009.

O'Driscoll, G. *The Essential Guide to Home Networking Technologies*. Prentice Hall, 2001.

Rodrigues, Rafael Montenegro. *Disponibilização de Informações Sensoriais Sem Fio Via UPnP*. Recife, 2008.

Rogercom. *Manual da Placa Proto-Bee*. Alagoas, 2010. Disponível em: <http://www.rogercom.com/Produtos.htm > Acesso em 05 Nov. 2010.

Seixas, Filho. *Constantino Informática Industrial Aula1 O Que é Automação.* Belo Horizonte – MG, 2003. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/ ~seixas/Especializacao/> Acessado em 18 Nov. 2009.

Silva, Fabrício de Carvalho. *Redes de Comunicação para Aplicações em Automação Residencial: Revisão de literatura.* Lavras, 2006.

Teruel, Evendro Carlos. *Uma Proposta de Framework para Sistemas de Automação Residencial com Interface para WEB*. Centro Estadual de Educação Tecnologia Paulo Souza. São Paulo, 2008.

Teza, Vanderlei Rabelo. *Alguns Aspectos Sobre a Automação Residencial – Domótica***.** Florianópolis – SC 2002.

Torres, G. *Redes de Computadores: Curso Completo*, 1º Edição. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Redes de Sensores sem fio - Padrões* <www.gta.ufrj.br/grad/08_1/rssf/Padres.html> acesso 15 Nov. 2010 . Rio de Janeiro, 2008.

Wordlingo - WorldLingo Translations LLC. *IEEE 802.11n*. Disponível em: <http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/pt/IEEE_802.11n>, acesso em: 23 Nov. 2010.

Young & Freedman, , Hugh D. & Roger A. . Sears e Zemansky Física III, 10Ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley,2006.

ZigBee Specification. ZigBee Alliance. Disponível em: <http://www.zigbee.org>. Acesso em: 15 Out. 2010.

8

Anexos

8.1 Anexo I

Tabela 5: Nomenclatura dos Pinos, Fonte: MIYADAIRA (2009).

Pino	Tipo	Nome	Descrição
1	ST - ST	MCLR Vpp RE3	Master Clear Reset Entrada de voltagem de programação (12Volts) Entrada Digital
2	TTL Analógico	RA0 AN0	I/O Digital Canal analógico 0
3	TTL Analógico	RA1 AN1	I/O Digital Canal analógico 1
4	TTL Analógico Analógico Analógico	RA2 AN2 Vref- CVref	I/O Digital Canal analógico 2 Entrada de tensão negativa de referencia (baixa) para conversor A/D Saída de Vref do comparador analógico
5	TTL Analógico Analógico	RA3 AN3 Vref+	I/O Digital Canal analógico 3 Entrada de tensão positiva de referencia (alta) para conversor A/D
6	ST ST - TTL	RA4 T0CKL C1OUT RCV	I/O Digital Entrada de clock externo para Timer0 Saída do comparador 1 Entrada RCV para transceptor externo USB
7	TTL Analógico TTL Analógico -	RA5 AN4 SS HLVDIN C2OUT	I/O Digital Canal analógico 4 Entrada de seleção no modo SPI escravo Entrada do módulo High/low-voltage Dectect (HLVD) Saída do comparador 2
8	ST	RE0	I/O Digital

	Analógico -	AN5 CK1SPP	Canal analógico 5 Saída de clock 1 do SPP
9	ST Analógico -	RE1 AN6 CK2SPP	I/O Digital Canal analógico 6 Saída de clock 2 do SPP
10	ST Analógico -	RE2 AN7 OESPP	I/O Digital Canal analógico 7 Saída de habilitação do SPP
11	-	Vdd	Alimentação positiva
12	-	Vss	Terra (GND)
13	Analógico Analógico	OSC1 CLKI	Cristal oscilador Entrada do clock externo
14	- - TTL	OSC2 CLK0 RA6	Cristal oscilador Saída de clock I/O Digital
15	ST - ST	RC0 T1OSI T3CKI	I/O Digital Saída do oscilador do TIMER1 Entrada de clock externo para o TIMER1 / TIMER3
16	ST CMOS ST -	RC1 T1ISO CCP2 UOE	I/O Digital Entrada do oscilador do Timer1 Entrada do capture2, saída do Compare2, saída do PWM2 Saída OE para transceptor externo USB
17	ST ST TTL	RC2 CCP1 P1A	I/O Digital Entrada do capture1, saída do Compare1, saída do PWM1 Saída A do PWM do módulo ECCP1
18	-	VUSB	Saída de tensão do regulador interno (USB 3.3V)
19	ST TTL	RD0 SPP0	I/O Digital I/O de dado 0 (SPP)
20	ST TTL	RD1 SPP1	I/O Digital I/O de dado 1 (SPP)
21	ST TTL	RD2 SPP2	I/O Digital I/O de dado 2 (SPP)
22	ST TTL	RD3 SPP3	I/O Digital I/O de dado 3 (SPP)
23	TTL - TTL	RC4 D- VM	I/O Digital Linha D- do Barramento USB Entrada VM para o transceptor externo USB
24	TTL -	RC5 D+	I/O Digital Linha D- do Barramento USB

	TTL	VP	Entrada VP para o transceptor externo USB
25	ST - ST	RC6 TX CK	I/O Digital Transmissão assíncrona EUSART Clock síncrono EUSART1
26	ST ST ST -	RC7 RX DT SDO	I/O Digital Recepção assíncrona EUSART Dados síncronos EUSART Saída de dados do módulo SPI
27	ST TTL	RD4 SPP4	I/O Digital I/O de dado 4 (SPP)
28	ST TTL -	RD5 SPP5 P1B	I/O Digital I/O de dado 5 (SPP) Saída B do PWM do módulo ECCP1
29	ST TTL -	RD6 SPP6 P1C	I/O Digital I/O de dado 6 (SPP) Saída C do PWM do módulo ECCP1
30	ST TTL -	RD7 SPP7 P1D	I/O Digital I/O de dado 7 (SPP) Saída D do PWM do módulo ECCP1
31	-	Vss	Terra (GND)
32	-	Vdd	Alimentação positiva
33	TTL ST ST Analógico ST ST	RB0 INT0 FLT0 AN12 SDI SDA	I/O Digital Interrupção externa 0 Entrada de falha do *Enhanced* PWM Canal analógico 12 Entrada de dados do módulo SPI I/O dados do módulo I2C
34	TTL ST Analógico ST ST	RB1 INT1 AN10 SCK SCL	I/O Digital Interrupção externa 1 Canal analógico 10 I/O de clock serial síncrono do módulo SPI I/O de clock serial síncrono do módulo I^2C
35	TTL ST Analógico -	RB2 INT2 AN8	I/O Digital Interrupção externa 2 Canal analógico 8
36	TTL Analógico ST -	RB3 AN9 CCP2 VPO	I/O Digital Canal analógico 9 Entrada do Capture2, saída do compare2, saída do PWM2 Saída VPO para transceptor externo USB

37	TTL Analógico TTL -	RB4 AN11 KBI0 CSSPP	I/O Digital Canal analógico 11 Pino de interrupção na mudança de estado Saída de seleção do chip (SPP)
38	TTL TTL ST	RB5 KBI1 PGM	I/O Digital Pino de interrupção na mudança de estado Ativa a programação ICSP em baixa voltagem
39	TTL TTL ST	RB6 KBI2 PGC	I/O Digital Pino de interrupção na mudança de estado In-circuit debugger e clock de programação ICSP
40	TTL TTL ST	RB7 KBI3 PGD	I/O Digital Pino de interrupção na mudança de estado In-circuit debugger e clock de programação ICSP

8.2 Anexo II

Código Fonte gravado no PIC, baseado no modelo disponível no site da Microchip® (http://translate.google.com.br/translate?hl=ptBR&sl=en&tl= pt&u= http:// www.microchip.com/&anno=2), acessado em 16 de Setembro de 2010. O Restante dos códigos e o código da aplicação estão no cd que acompanha este trabalho.

Código Referente à conversão analógica

```
LIST P=18C452

        #include <P18F4550.INC>     ; File contains addresses for register and bit names
;*************************************************************
        org     0x00000
        goto    Start
        org     0x00008
        goto    ISR

;*************************************************************
        org     0x00020
Start
        clrf    PORTB
```

```
        clrf    TRISB
        call    InitializeAD
        call    SetupDelay
        bsf     ADCON0,GO
Main    goto    Main

;*****************************************************************
ISR
        btfss   PIR1,ADIF
        goto    OtherInt
        movf    ADRESH,W
        movwf LATB
        bcf     PIR1,ADIF
        call    SetupDelay
        bsf     ADCON0,GO
        goto    EndISR
OtherInt
        goto    $
EndISR
        retfie
;*****************************************************************
InitializeAD
        movlw B'00000100'
        movwf ADCON1
        movlw B'11000001'
        movwf ADCON0
        bcf     PIR1,ADIF
        bsf     PIE1,ADIE
        bsf     INTCON,PEIE
        bsf     INTCON,GIE
        return

SetupDelay
        movlw .4
        movwf TEMP*2
SD
        decfsz  TEMP*2, F
        goto    SD
        return

        END
```

Código Referente à comunicação USB/PIC ou Modulo X-Bee/PIC

```
#include <pic.h>
```

```
#include "usb.h"
#include <P18F4550.INC>     ; File contains addresses for register and bit names

bank1 static volatile bit NOT_RBPU @ 0x81*8+7;
bank3 static volatile unsigned char UCRL @ 0x15;

void CoreInterrupt() {
        return;
}


void PortBChange() {
        RBIF = 0;
        RemoteWakeup();
        return;
}


void main() {
        unsigned char i;
        unsigned char cnt;
        unsigned char state = 0;
        unsigned char buffer [4];
        unsigned char buffer2 [8];

        TRISB = 0;
        PORTB = 0;
        for (i = 0; i < 50; i ++);
        InitUSB ();
        while ((USWSTAT & 0x03) != 3);
        buffer [0] = 0;
        cnt = 0;

        while (1)
        {
                buffer[1] = table [state];
                buffer[2] = table [state+2];
                ++state;
                for (i = 0; i < 15; i++)
                        while (PutEP1(4, buffer) == 0);
                if (state > 7)
                        state = 0;
                if ((state & 0x01) == 1) {
                        if (capital[cnt] == 1)
                                buffer2[0] = 2;
                        buffer2[2] = greeting[cnt];
```

```
                    while (PutEP2(8, buffer2) == 0);
                    buffer2[0] = 0;
                    buffer2[2] = 0;
                    while (PutEP2(8, buffer2) == 0);
                    cnt++;
                    cnt &= 0xF;
                }
            }
        }
```