



ESTUDO SOBRE O PADRÃO ZIGBEE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA APLICADO EM AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Lucas de Mello Kindermann¹, Everton Luiz Ferret dos Santos²

Resumo: Este artigo apresenta a investigação do padrão ZigBee, um conjunto de protocolos de comunicação sem fio para implementação de redes *ad hoc* de curto alcance, baixa taxa de transferência de dados e baixo consumo de energia. Para analisar o funcionamento desse padrão, foi desenvolvido um sistema microcontrolado com aplicação em automação residencial, composto por três módulos: acionamento, controle e sensoramento, cuja intercomunicação é realizada por intermédio de dispositivos transceptores ZigBee. Com o mercado de automação residencial em expansão, o padrão ZigBee apresenta ser uma alternativa em potencial para o desenvolvimento de soluções aplicadas em automação residencial que exijam integração entre dispositivos eletrônicos residenciais, interface simplificada, economia de energia e fácil instalação.

Palavras-chave: Automação residencial. ZigBee. Microcontrolador. Acionamento eletrônico.

Abstract: This paper presents an investigation about the ZigBee standard, a collection of wireless communication protocols for low range, low data rate and low power consumption *ad-hoc* networks. To analyze the functioning of this standard, it was developed a microcontrolled system applied in home automation, composed of three modules: actuation, control and sensing, which intercommunication is performed by intermediate of ZigBee transceivers devices. With the home automation market in expansion, the ZigBee standard presents to be a potential alternative for the development of solutions applied in home automation which require integration between residential electronic devices, simplified interface, power saving and easy installation.

Keywords: Home automation. ZigBee. Microcontroller. Electronic actuation.

¹ Tecnólogo em Sistemas Eletrônicos pelo IFSC, <lmkindermann@gmail.com>.

² Professor do DAELN, campus Florianópolis, do IFSC <everton@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

A automação residencial é um conjunto de tecnologias que torna possível o gerenciamento e a automatização de diversos dispositivos elétricos ou eletrônicos de uma edificação. Seu objetivo é permitir o controle dos elementos de um ambiente para a realização de tarefas ou serviços domésticos de forma automática, prática e rápida, satisfazendo assim as necessidades de conforto, comunicação, economia e segurança das pessoas em suas residências, gerando melhor qualidade de vida.

O conceito de automação residencial sugere a implementação de uma rede de sensores e atuadores interligados entre si através de um protocolo de comunicação, permitindo que possam executar

determinadas funções dentro de uma residência e fornecer informações referentes a residência ao usuário. Entre as tecnologias que podem ser empregadas, se destaca a comunicação wireless entre os dispositivos, cuja implementação permite eliminar a necessidade de cabos para a transmissão de dados e, consequentemente, a realização de *retrofitting* em edificações para essa finalidade, além de oferecer maior flexibilidade para o uso e para o desenvolvimento do sistema (MATEUS FILHO *et al.*, 2009).

Entre as tecnologias de comunicação sem fio que podem ser aplicadas em automação residencial, o padrão ZigBee se destaca por se tratar de uma tecnologia com foco em economia, segurança e baixo consumo de energia, além de permitir a

configuração de redes privadas com uma grande quantidade de dispositivos conectados entre si.

Segundo a Aureside (2011), o mercado de automação residencial vem se expandindo devido à demanda crescente por produtos e soluções, à divulgação do tema e ao aumento da concorrência. Motivada pela viabilidade em desenvolver soluções inovadoras nesse mercado aquecido, essa pesquisa tem como objetivo investigar o uso do padrão ZigBee em sistemas empregados em automação residencial, apresentando suas principais características e benefícios. Esse artigo também apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado para a execução de processos aplicados em automação residencial, utilizando o ZigBee como interface de comunicação remota entre os módulos do sistema.

2. O PADRÃO ZIGBEE

O ZigBee é um conjunto de protocolos de comunicação para redes WPAN (*Wireless Personal Area Network*) baseado no padrão IEEE 802.15.4. Essa pilha protocolar foi desenvolvida para aplicações em sistemas embarcados que necessitem de curto alcance de comunicação (entre 30 m e 100

m em ambientes internos, podendo atingir até 1.500 metros em áreas abertas) e baixa taxa de transmissão de dados, entre 20 kbps e 250 kbps (TSANG *et al.*, 2007).

O ZigBee opera nas frequências ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), sendo elas de 868 MHz na Europa (com 16 canais de comunicação), 915 MHz nos Estados Unidos (10 canais) e 2,4 GHz (16 canais) para o resto do mundo. O padrão ZigBee não requer licenciamento para o seu funcionamento, permitindo que essa tecnologia possa ser utilizada livremente. Também oferece uma excelente imunidade a ruídos, devido às suas características de rede e criptografia de dados AES (*Advanced Encryption Standard*) de 128 bits, o que minimiza as chances de interferências entre dispositivos ZigBee configurados em redes diferentes e também com dispositivos que utilizam outros protocolos de comunicação na mesma faixa de frequência.

A Figura 1 apresenta o posicionamento do padrão ZigBee em relação as principais tecnologias de comunicação WPAN e WLAN (*Wireless Local Area Network*).

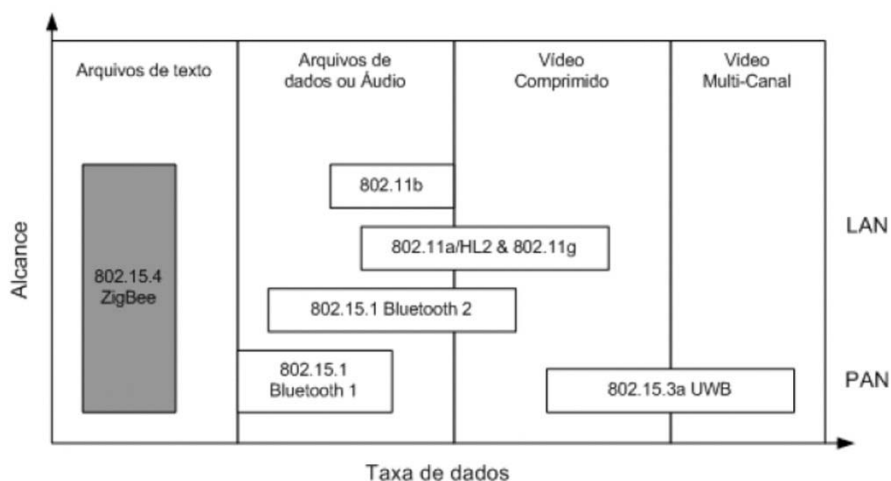


FIGURA 1 – Posicionamento das tecnologias wireless.

Fonte: MONSIGNORE, 2010.

Uma das principais vantagens do padrão ZigBee é o suporte a uma rede auto-organizável. Através de nós que são formados por dispositivos contendo um microcontrolador e um transceptor de radiofrequência, a pilha protocolar permite que os dispositivos reconheçam uns aos outros e enviem dados através de uma rede em malha, se um dos nós falha na transmissão dos dados, ela pode ser realizada por um outro caminho até a informação atingir o nó de destino. Utilizando endereçamento de 16 bits, é possível configurar até 65.535 dispositivos em uma única rede (TSANG *et al.*, 2007).

Outra grande vantagem do padrão ZigBee é o baixo consumo de energia. Quando está no modo de espera, um dispositivo ZigBee consome corrente elétrica na ordem de microampéres, saindo desse estado quando for requisitada uma transmissão de dados e retornando após realizar a comunicação. Dessa forma, é possível aplicar a pilha protocolar em sistemas alimentados por baterias, obtendo um longo período de operação.

Atribuindo as características citadas acima, o padrão ZigBee está sendo considerado a solução ideal para sistemas de comunicação de curto alcance, baixa taxa de dados, baixo consumo de

energia e boa relação custo benefício (MONSIGNORE, 2007). A Figura 2 apresenta

algumas das aplicações em que o padrão ZigBee pode ser implementado.



FIGURA 2 – Aplicações para o ZigBee.

Fonte: ROGERCOM, 2010.

Os dispositivos ZigBee podem ser configurados de duas maneiras diferentes: FFD (Full Function Device) ou RFD (Reduced Function Device). No modo FFD, os dispositivos são configurados para utilizar todos os recursos da pilha protocolar, exigindo um hardware mais potente e, conseqüentemente, consumindo mais energia. Esse modo deve ser configurado em um nó que irá coordenar a rede, e também em nós que irão atuar como roteadores ou dispositivo final na rede local.

No modo RFD, os dispositivos são configurados para utilizar o mínimo de recursos necessários para a implementação da pilha

protocolar, que deve ser aplicada em dispositivos que irão somente receber dados e passar o restante do tempo no modo de espera. Por utilizar menos recursos, podem ser implementados com um hardware mais simples, como, por exemplo, microcontroladores de 8 bits. Esse modo deve ser configurado em nós que vão atuar como dispositivo final na rede local. A Figura 3 apresenta as principais topologias existentes de redes ZigBee, classificadas quanto a função dos nós (coordenador, roteador e dispositivo final) e a forma como os dispositivos interagem entre si (malha, estrela ou árvore).

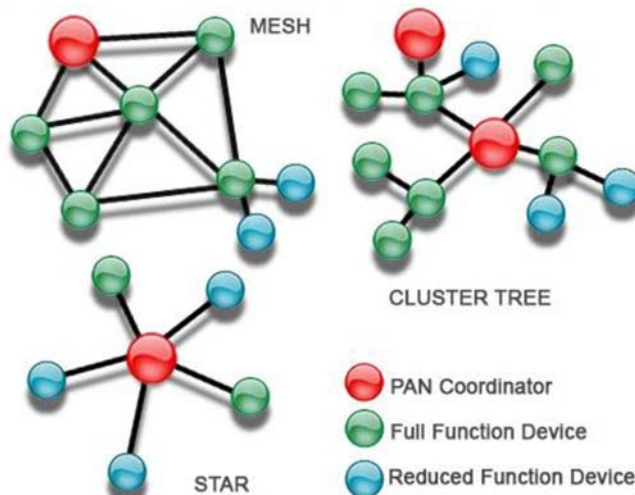


FIGURA 3 – Topologias de rede ZigBee.

Fonte: ICPDAS, 2011.

O nó configurado como Coordenador é responsável pela implementação da rede ZigBee; é

ele quem gerencia a rede, inicializando e configurando, localiza os demais nós e mapeia a

distribuição de endereços de rede para cada dispositivo. Os nós configurados como Roteador exercem a função de retransmitir dados entre os nós dentro de uma rede ZigBee, ampliando o alcance da rede. Além disso, também pode atuar como um dispositivo final. Tanto o nó coordenador quanto os nós roteadores devem ser configurados como dispositivos FFD para que possam realizar suas funções. Por fim, os nós configurados como dispositivo final são onde os sensores e atuadores da rede serão aplicados, podem ser configurado como FFD ou como RFD para se obter menor consumo de energia, dependendo da forma como será realizada a comunicação com os demais nós da rede.

Para existir comunicação entre os nós em uma rede ZigBee, existem três tipos diferentes de topologias de rede que podem ser implementadas. Na topologia estrela (ou *star*), um nó coordenador é responsável pelo gerenciamento da rede, enquanto que os demais nós são conectados a ele. Toda a informação que circula pela rede é retransmitida pelo coordenador.

A topologia árvore (ou *cluster tree*) é semelhante à topologia estrela, no entanto os nós roteadores são implementados para realizar uma ponte de comunicação entre os nós mais distantes. A vantagem dessa topologia é que ela pode ser implementada para aumentar a cobertura e alcance da rede. Na topologia malha (ou *mesh*), existe uma conectividade entre todos os nós FFD configurados como coordenador e roteadores. Dispositivos finais podem ser conectados a um FFD imediatamente superior dentro da hierarquia, porém não realiza a repetição dos dados na rede. Esta configuração se destaca pela confiança e rendimento da rede devido ao amplo número de caminhos disponíveis para que a troca de informações entre os nós não se perca no trajeto.

2.1. O módulo Digi XBee-PRO S2B

Para a realização desse trabalho, foi utilizado o módulo Xbee-PRO S2B, fabricado pela Digi. O XBee-PRO S2B (Figura 4) é um módulo formado por um microcontrolador e um transceptor de radiofrequência projetado para operar com a pilha protocolar ZigBee. Entre os periféricos disponíveis no módulo estão: portas de entradas e saídas analógicas e digitais, adaptadores RS-232 e RS-485 para implementação de comunicação serial utilizando o protocolo UART (*Universal Asynchronous serial Receiver and Transmitter*), adaptador para o protocolo USB (*Universal Serial Bus*) para configuração e atualização de *firmware* do módulo. Além desses periféricos, o módulo XBee-PRO S2B possui outros recursos que podem ser vistos no seu *datasheet* em DIGI (2010).



FIGURA 4 – Módulo Digi XBee-PRO.

Quanto ao padrão ZigBee, as principais características do módulo são:

- rendimento de potência de 60 mW;
- alcance de até 100 m em ambientes internos e zonas urbanas;
- alcance de até 1.600 m em linha visível para ambientes externos;
- sensibilidade do receptor de -100 dBm (1% PER);
- frequência de operação ISM de 2,4 GHz;
- 12 canais de comunicação selecionáveis por *software*;
- taxa de dados de 250 kbps;
- tensão de alimentação entre 2,8 e 3,4 V;
- consumo de corrente elétrica menor que 10 μ A no modo de espera (*sleep*), 55 mA durante a recepção de dados e 215 mA durante a transmissão de dados;
- opções de antena: Conector U.FL RF, chip ou chicote (*whip*);
- criptografia de dados AES de 128 bits;
- endereçamento de 16 bits (mais de 65 mil endereços disponíveis em uma rede).

A comunicação entre os módulos XBee ocorre de duas maneiras diferentes: no modo transparente ou no modo API. No modo transparente, os dados (comandos e informações) são transmitidos ou recebidos da mesma forma que no padrão RS-232 (Figura 5). Um buffer de transmissão e outro de

recepção é utilizado para obter melhor performance na comunicação serial.

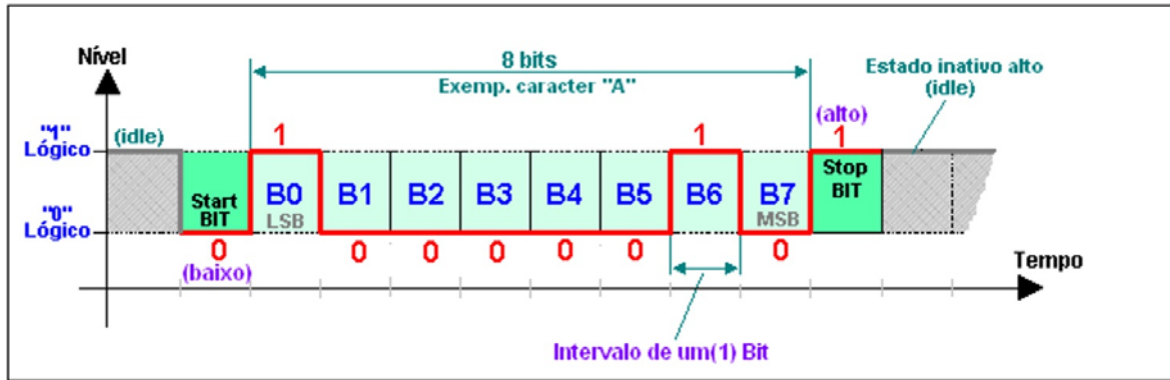


FIGURA 5 – Quadro estrutural do padrão RS232.

Fonte: ROGERCOM, 2010.

No modo API (*Application Programming Interface*), os dados são comunicados em uma sequência de quadros específicas, que permite enviar comandos ou obter informações de outros nós da rede remotamente, sem necessidade de retirar o dispositivo do local onde está

implementado ou precisar alterar o firmware do mesmo. O módulo XBee opera utilizando o protocolo serial UART como interface para a operação do modo API. A Figura 6 apresenta o quadro estrutural do módulo configurado no modo API.



FIGURA 6 – Quadro estrutural do modo API.

Fonte: DIGI, 2010.

3. METODOLOGIA APLICADA

Para o desenvolvimento do sistema embarcado apresentado nesse trabalho, foram realizadas as seguintes tarefas:

- pesquisa e estudo sobre o protocolo ZigBee para a viabilidade de aplicação;
- definição dos requisitos, limitações e funcionalidades para o sistema proposto;
- seleção do material e componentes eletrônicos utilizados;
- projeto do hardware e do firmware embarcado no sistema;
- implementação do protótipo funcional;
- realização de ensaios e testes;
- análise dos resultados obtidos.

As características do padrão ZigBee, entre elas a implementação de uma rede sem fio de baixo alcance, o baixo consumo de energia, a capacidade de endereçar grande quantidade de dispositivos e a transferência de dados criptografados, tornam esse

padrão ideal para aplicações que envolvem controle e automação de dispositivos instalados em edificações residenciais.

Para explorar as características de funcionamento do padrão ZigBee, foi definido que o sistema embarcado proposto seria implementado de forma distribuída, formado por três módulos. Para cada módulo foi definida uma série de características e limitações para serem aplicados em funções específicas: controle, sensoramento e acionamento. A comunicação entre os módulos foi realizada por uma rede ZigBee implementada na topologia malha e utilizando os módulos XBee. A Figura 7 apresenta o diagrama de blocos do sistema.

3.1. Módulo de Acionamento

O módulo de acionamento foi desenvolvido para acionar dispositivos elétricos ou eletrônicos conectados à placa através de conectores bornes. O controle é realizado através da atuação de relés de estado sólido, implementados com circuitos contendo TRIACs e optoacopladores ligados ao microcontrolador ATmega644.

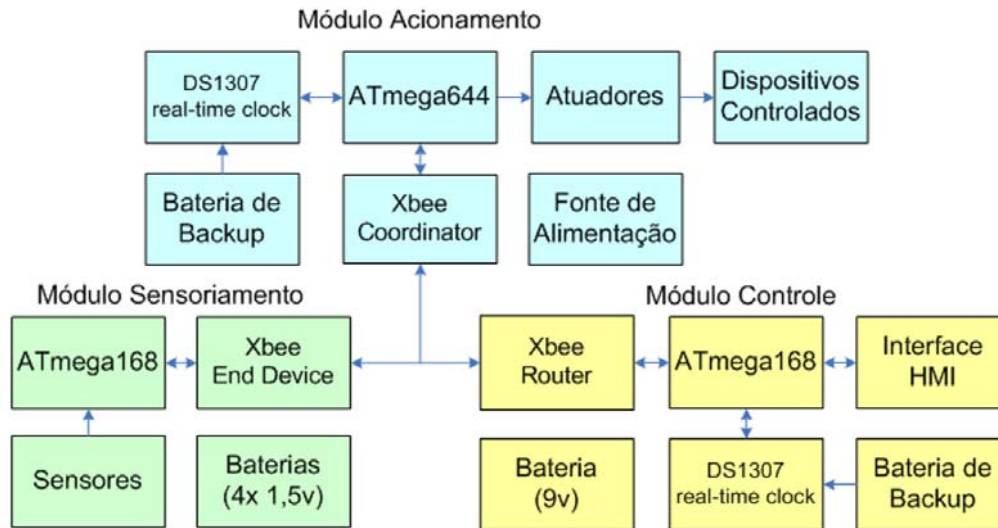


FIGURA 7 – Diagrama de Blocos.

O acionamento dos dispositivos é realizado através do chaveamento liga/desliga ou pelo controle de disparo por ângulo de fase, permitindo que a potência possa ser controlada em determinados níveis.

A comunicação com as outras placas é realizada através do módulo XBee configurado como Coordenador de rede, que também realiza a configuração da rede ZigBee e o mapeamento dos demais módulos XBee presentes no sistema. A placa também possui um circuito integrado de relógio DS1307 que é configurado remotamente pelo usuário para a realização de acionamentos controlados por tempo. O relógio é sincronizado

com o DS1307 do módulo de controle para evitar transmissões de dados desnecessárias entre os módulos do sistema (para visualização do horário atual) e para que o sistema realize os acionamentos no horário correto programado pelo usuário.

A alimentação desse módulo é realizada por uma fonte de corrente contínua de 9 V, uma vez que existe a necessidade de se manter o módulo XBee configurado como coordenador sempre ligado, assim como o microcontrolador que recebe as informações de sensores, do relógio, e verifica os eventos programados pelo usuário para realizar o acionamento dos dispositivos. A Figura 8 apresenta o diagrama elétrico do módulo de acionamento.

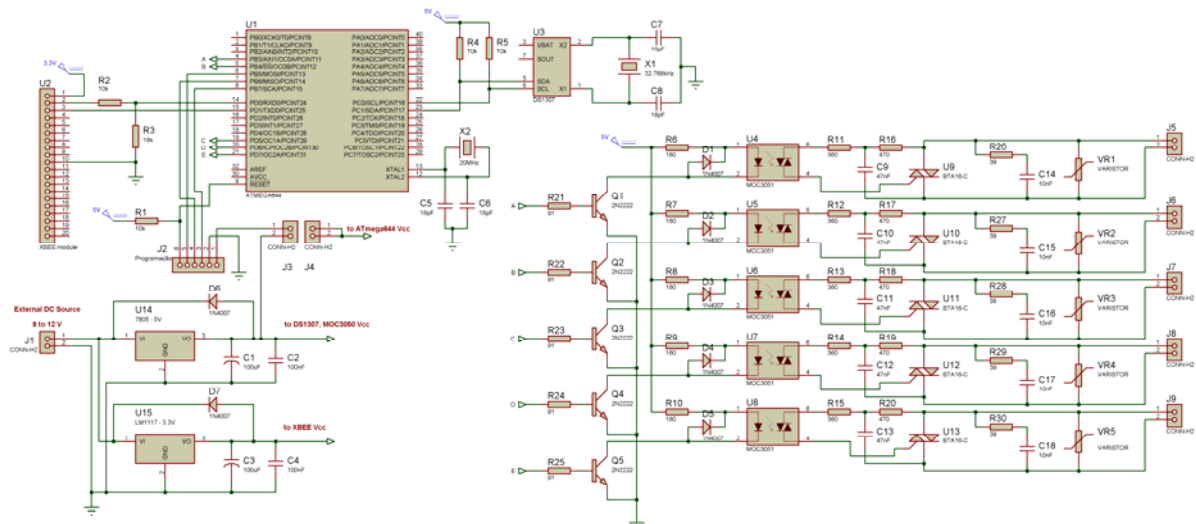


FIGURA 8 – Diagrama elétrico do módulo de acionamento.

3.2. Módulo de Controle

O módulo de controle desenvolvido apresenta interface homem-máquina em que o usuário pode enviar o comando de acionamento manualmente, ou

programar um evento para que o sistema realize o acionamento automático nos dispositivos conectados ao módulo de acionamento. A interface com o usuário é realizada através de uma tela LCD de caracteres 20x4 e quatro botões *push-button*. O

módulo também conta com o circuito integrado DS1307 que permite a visualização da hora/data atual e mantém sincronia com o relógio do módulo de acionamento.

Por se tratar de um módulo portátil, a alimentação é realizada por uma bateria de 9 V. O módulo XBee é configurado como Roteador, pois dessa forma, enquanto a placa estiver ligada, ela

poderá servir como uma ponte na comunicação entre os demais módulos da rede, dependendo da distância que estiverem um do outro. Dessa forma a comunicação irá percorrer a menor distância possível, evitando perdas de dados. A Figura 9 apresenta o diagrama elétrico do módulo de controle.

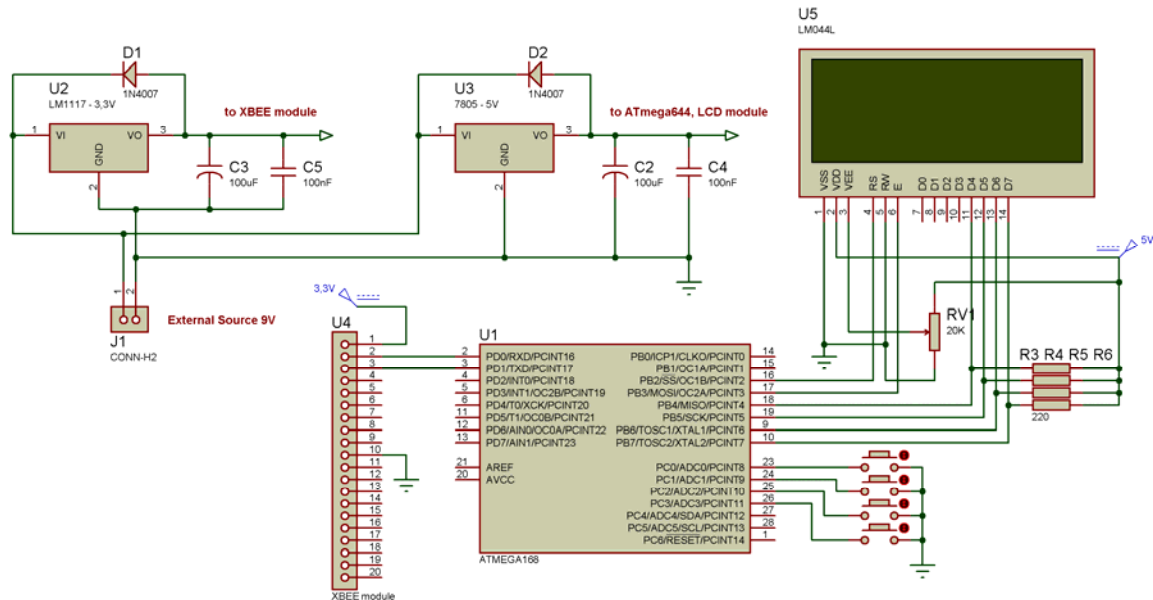


FIGURA 9 – Diagrama elétrico do módulo de controle.

3.3. Módulo de Sensoriamento

O módulo de sensoriamento desenvolvido foi equipado com sensores de temperatura e iluminação para enviar informações aos demais módulos do sistema, de forma que os dados obtidos possam ser aproveitados para as configurações de acionamento, ou simplesmente para informar o usuário.

O módulo de sensoriamento também é portátil, permitindo que seja instalado onde for desejado, desde que permaneça dentro do alcance da rede ZigBee. A alimentação é realizada por um conjunto de quatro pilhas AA, que ligadas em série fornecem um valor de tensão entre 4,8 V e 6 V, dependendo do tipo de pilha utilizada. Os sensores utilizados são o circuito integrado TMP36 para medir temperaturas e um fotorresistor que captura a irradiação luminosa incidente sobre ele. O microcontrolador ATmega168 realiza a conversão A/D dos sinais obtidos dos sensores, calcula o valor médio das grandezas adquiridas ao longo do tempo e codifica os dados para serem enviados aos demais módulos do sistema.

O módulo XBee é configurado como um *End Device* com o conjunto de instruções FFD para transmitir e receber dados. Quando não está se comunicando com os demais módulos, o XBee

permanece no modo de espera, consumindo pouca energia, até que seja interrompido com a requisição de uma nova comunicação. A Figura 10 apresenta o diagrama elétrico do módulo de sensoriamento.

3.4. Implementação e Testes

Definindo as características do sistema, os circuitos e componentes eletrônicos utilizados no projeto, o passo seguinte foi realizar os testes das estruturas eletrônicas individualmente para validar o funcionamento e analisar a viabilidade de integrá-las aos módulos do sistema.

Para cada estrutura testada, foi implementado o circuito correspondente em uma matriz de contatos de testes alimentada com uma fonte ATX. Para os testes que envolviam o uso dos microcontroladores, foram desenvolvidos códigos utilizando a linguagem de programação em C utilizando o ambiente de desenvolvimento AVR Studio e o compilador WinAVR. Foi utilizado também o *software* XCTU para realizar as configurações dos módulos XBee.

Entre os testes realizados, estão o funcionamento dos microcontroladores, do *display* LCD, a medição de temperatura do TMP36 e de iluminação com o LDR utilizando conversor A/D, a transmissão de dados entre os módulos XBee utilizando o padrão ZigBee e entre os módulos

XBee e microcontroladores utilizando o padrão serial RS-232, o acionamento dos relés de estado sólido e a interface homem-máquina do sistema. Foram desenvolvidos códigos para o tratamento dos

sinais obtidos na medição dos sensores, para a interface homem-máquina do sistema e para o tratamento dos eventos programados para o acionamento dos relés.

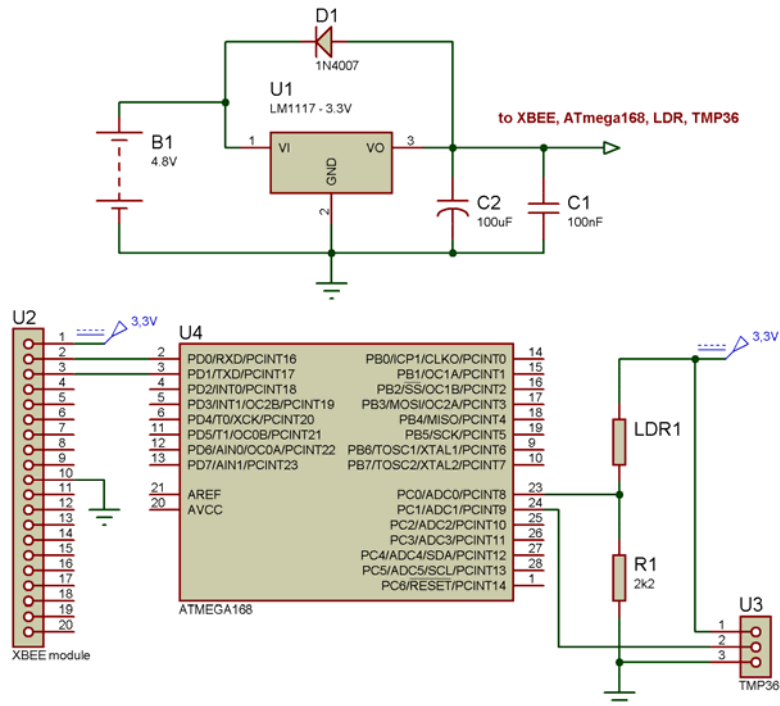


FIGURA 10 – Diagrama elétrico do módulo de sensoriamento.

Após validar todos os testes das estruturas eletrônicas individualmente e integradas em cada módulo, foi realizada a montagem dos módulos em placas de circuito impresso. As Figuras 11, 12 e 13 apresentam os protótipos desenvolvidos para cada módulo do sistema.

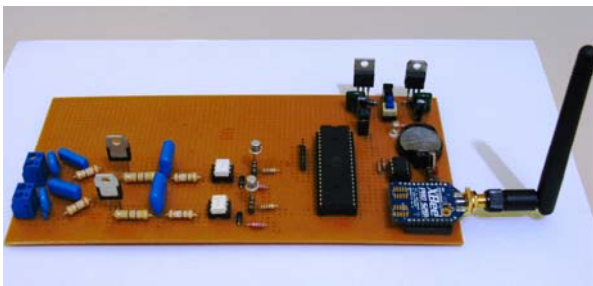


FIGURA 11 – Protótipo do módulo de acionamento.

O protótipo do módulo de acionamento foi desenvolvido com um número reduzido de relés de estado sólido e também foi elaborado um algoritmo mais simplificado, com menor quantidade de eventos programáveis, uma vez que o objetivo principal está em testar a comunicação entre os módulos e não apenas na capacidade de realizar múltiplos acionamentos.

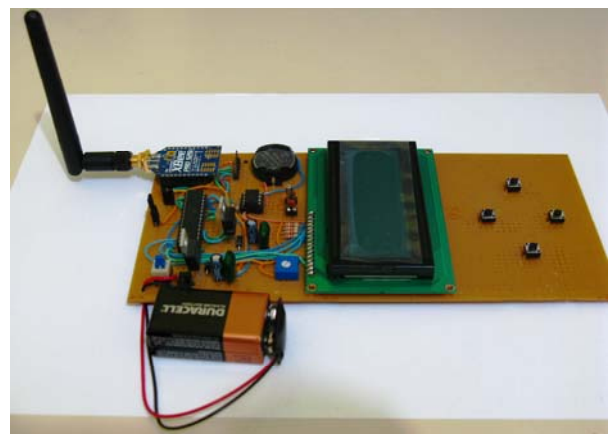


FIGURA 12 – Protótipo do módulo de controle.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da pesquisa realizada e do sistema microcontrolado desenvolvido nesse projeto, foi possível comprovar a eficiência do padrão ZigBee para realizar comunicação de dados sem fio, de curta distância, em aplicações que envolva controle, automação e medição. A capacidade de implementar uma rede privada auto-organizável com uma grande quantidade de dispositivos conectados entre si, associada ao baixo consumo de energia, torna esse padrão uma excelente escolha

para o desenvolvimento de novos produtos associados ao mercado de automação residencial.

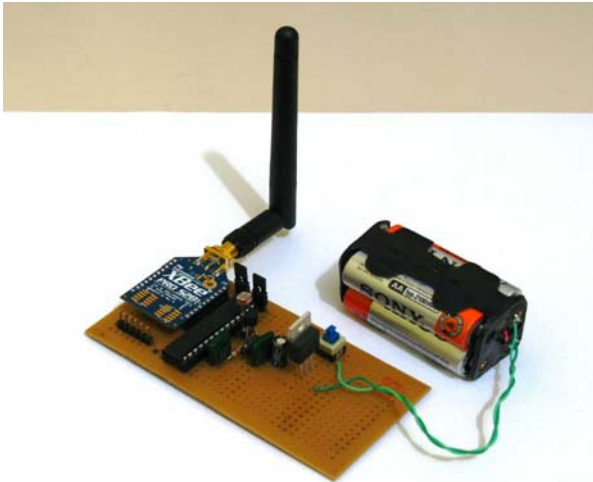


FIGURA 13 – Protótipo do módulo de sensoriamento.

O sistema implementado funcionou conforme esperado, o módulo de acionamento realiza acionamentos manuais ou automáticos conforme programados através do módulo de controle, com configurações de hora/data, temperatura ou intensidade luminosa medidas pelo módulo de sensoriamento. O algoritmo implementado foi eficaz em realizar a análise dos dados configurados pelo usuário e dos dados obtidos nas medições dos sensores para a realização dos acionamentos automáticos. A comunicação ZigBee também transcorreu de maneira esperada; optou-se por utilizar o modo transparente para facilitar a interface entre os microcontroladores, enviando e recebendo dados juntamente com um código de identificação do módulo de origem em cada pacote de dados transmitidos através da rede sem fio.

Pesquisas mais aprofundadas sobre as especificações de radiofrequência, transmissão de dados, configurações de rede, segurança ou economia de energia do padrão ZigBee, assim como a integração de outros periféricos ou protocolos de comunicação no desenvolvimento de sistemas aplicados em automação residencial podem servir como temas para futuros trabalhos relacionados a esse projeto.

REFERÊNCIAS

- ATMEL. **8-bit microcontroller with 64K Bytes In-System Programmable Flash**. Disponível em: <<http://www.atmel.com/Images/doc2593.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2011.
- ATMEL. **8-bit microcontroller with 4/8/16K Bytes In-System Programmable Flash**. Disponível em: <<http://www.atmel.com/Images/doc2545.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2011.
- AURESIDE – **Associação Brasileira de Automação Residencial**. Disponível em: <www.aureside.org.br>. Acesso em: 1 abr. 2011.
- DIGI. **XBee/XBee-PRO ZigBee RF Modules. 2010**. Disponível em: <<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xb-zb-module>> Acesso em: 1 out. 2010.
- ICPDAS. **ZigBee Introduction**. Disponível em: <http://www.icpdas.com/products/GSM_GPRS/zigbee/zigbee_introduction.htm>. Acesso em: 1 jun 2011.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE 804.15.4 - Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)**. Disponível em: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4d-009.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2010.
- MATEUS FILHO, P.R.; DIAS, Y.F.G.; FERREIRA Jr., P.A.; BAUCHSPIESS, A. **Automação Predial Wireless em Ambiente com Cargas Térmicas**. 2009. Disponível em: <http://www.lara.unb.br/~bauchspiess/papers/SBAI_2009_55763.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2011.
- MONSIGNORE, F. **Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão ZigBee**. 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18152/tde-27042007-102640/publico/Ferdinando.pdf>>. Acesso em: 1 out. 2010.
- ROGERCOM. **Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**. 2008. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em: set. 2010.
- TSANG, K. F.; LEE, W. C.; LAM, K. L.; TUNG, H. Y.; KAI Xuan. **An integrated ZigBee automation system: An energy saving solution**. 2007. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4430752>. Acesso em: 1 jan. 2011.