

EXPERIMENTOS DIDÁTICOS EM REDE SEM-FIO ZIBGEE: MONITORAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO

Edval J. P. Santos – edval@ee.ufpe.br

Michelle A. V. Cavalcanti – michelleavc@gmail.com

Emmanuel A. B. Santos – emmanuel.andrade@gmail.com

Helga U. Dornelas – helhud@gmail.com

Jacinaldo B. de Medeiros Jr. – jacinaldojr@hotmail.com

Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas,
Departamento de Eletrônica e Sistemas
Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária
50670-901 – Recife – PE

Resumo: *O uso cada vez maior da tecnologia de rede sem-fio e em particular, as redes de sensores sem-fio, RSSF, torna necessário que essa tecnologia seja introduzida nos currículos dos cursos de graduação em Engenharia Elétrica. Em particular, esse assunto pode exercer um papel motivador para o estudo da teoria eletromagnética. A partir de 2008, começamos a apresentar essa tecnologia entre os estudantes de graduação do curso de Engenharia Eletrônica da UFPE. A turma inicial consiste de bolsistas de iniciação científica, que passaram a incorporar a tecnologia de rede sem-fio em diversas aplicações. Foi escolhida a tecnologia ZigBee (módulos XBee/XBee-PRO da Maxstream/Digi International) por ser a mais apropriada com sensores tipicamente encontrados na automação industrial. As aplicações nesse trabalho são o monitoramento da rede elétrica e a medição de grandezas físicas: deformação, temperatura e pressão.*

Palavras-chave: *Rede sem-fio, ZigBee, qualidade de energia, deformação, temperatura, pressão*

1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento da microeletrônica nos últimos 40 anos possibilitou a integração de circuitos digitais junto com módulos analógicos e de RF, em um mesmo chip. Além de ter possibilitado uma grande miniaturização e redução dos custos de fabricação de sensores diversos. Tornando as técnicas de microfabricação uma tecnologia estratégica para qualquer país desenvolvido ou em desenvolvimento. Essa integração possibilitou o desenvolvimento de sistemas em chip programáveis e transdutores inteligentes. O resultado é que a eletrônica tornou-se pervasiva, trazendo com isso novos problemas, tais como: localização, durabilidade, confiabilidade e outros que não são o escopo deste trabalho.

Quando se considera o ensino da Engenharia Elétrica, há poucas décadas, parecia que o universo digital estava dissociado do universo analógico. Não foram poucos os

que se entregaram a um futuro digital, deixando o estudo das técnicas analógicas e de RF no esquecimento. Com a frequência dos circuitos integrados digitais atingindo a faixa de gigahertz, o projeto desses circuitos passou a exigir conhecimentos de circuitos analógicos e de eletromagnetismo. A situação tornou-se ainda mais crítica, com o surgimento das redes de comunicação sem-fio. Diversas tecnologias têm sido propostas para permitir a comunicação sem fio, tais como: Wi-Fi, Bluetooth, 6LoWPAN, GSM/GPRS, Wireless USB/UWB, ultra-low-power Bluetooth (Wibree), WirelessHart, Z-wave, and ZigBee/ZigBee Pro [1].

Essa explosão de tecnologias tornou necessário o reforço do ensino de técnicas analógicas e de RF nos currículos de Engenharia Elétrica. Em 2006, a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, lançou a Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT PROMOVE Laboratórios de Inovação 06/2006. Nesse edital, foi aprovado o projeto Automação em Rede Sem Fio, AUTSEMFINO. Entre os objetivos, está o treinamento dos futuros engenheiros na tecnologia de redes de sensores sem fio, RSSF. Para avaliar a introdução dessa tecnologia no currículo, foi sugerido aos estudantes de Iniciação Científica que incorporasse a rede de sensores sem-fio em seus projetos. As aplicações selecionadas são de monitoramento da rede elétrica, da deformação e de uma planta de avaliação de medidores de vazão. Para o monitoramento da rede elétrica foram escolhidos transdutores de tensão e corrente, para o monitoramento da deformação foi escolhido um extensômetro e para o monitoramento da planta de vazão foram escolhidos transdutores de temperatura e pressão.

Esse artigo está dividido em quatro partes, sendo a primeira esta introdução. Na segunda parte, é apresentada a tecnologia ZigBee. Na terceira parte, são apresentadas as aplicações. Finalmente, as conclusões.

2 TECNOLOGIA ZIGBEE

A tecnologia de rede sem-fio ZigBee é um padrão proposto em 2002, com a formação da *ZigBee Alliance*, um consórcio inicialmente formado por empresas, tais como: Philips, Motorola, Bosch, Freescale, Siemens, entre outras. Inicialmente era um padrão envolvendo todas as camadas do modelo OSI da ISO. Em 2003, passou a adotar a norma IEEE802.15.4 para a camada física. Com isso, as camadas definidas pela norma IEEE 802.15.4 são as camadas Física (PHY) e a de Controle de Acesso Médio (MAC). As camadas de Aplicação (API), Rede e Segurança são definidas pela ZigBee Alliance, como indicado na Figura 1.

A versão atual do protocolo é denominado de ZigBee-2006. ZigBee PRO foi lançado em 2007. Entre as aplicações dessa tecnologia, pode-se citar: automação residencial, monitoramento e controle do uso de energia, automação predial, monitoramento da saúde de pacientes, eletrônica de consumo e dispositivos móveis [2].

O padrão ZigBee tem os seguintes focos: aplicações de monitoramento e controle, baixo consumo de energia para que possa operar com baterias por tempos prolongados e baixo custo. A consequência é que essa tecnologia apresenta baixas taxas de transferências e baixo alcance, quando comparadas com seus competidores. Uma comparação entre algumas tecnologias de rede sem fio pode ser vista na Tabela 1. Como se pode observar, a tecnologia ZigBee permite a operação da rede, com baterias, por período de anos. Um tempo muito maior quando comparada com as tecnologias competidoras. Embora se possa desenvolver novos protocolos com desempenho superior referente a consumo de energia, taxa de transmissão e alcance, optou-se pela tecnologia ZigBee por ser um padrão aberto. Um aspecto importante da tecnologia

ZigBee é a utilização de criptografia de 128 bits baseada em AES (*Advanced Encryption Standard*). Para poupar energia, o módulo ZigBee possui dois modos de operação: Ativo e Em espera (*Stand by*), o tempo de transição entre esses dois modos é cerca de 15 ms. As redes podem ser construídas com diferentes topologias: Estrela, Árvore e Mista. Como o dispositivo ZigBee mede a intensidade da energia recebida, isso pode ser usado para reconstruir a topologia, utilizando triangulação.

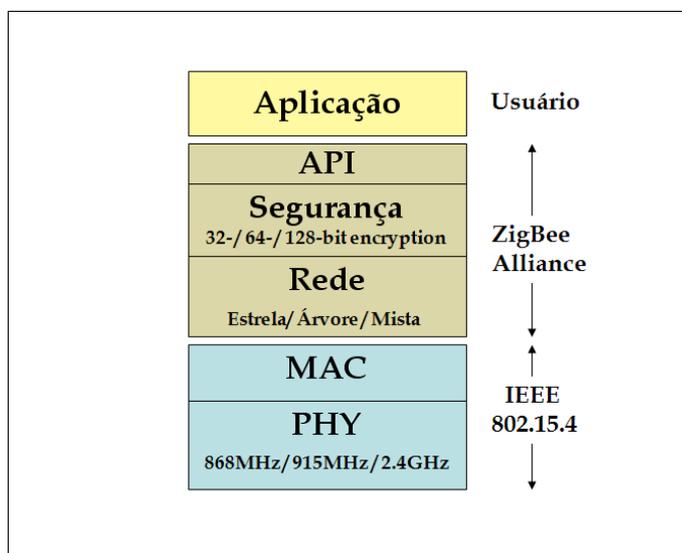


Figura 1 – Padrão da rede ZigBee em camadas

Tabela 1 - Comparação entre algumas tecnologias de rede sem fio

	ZigBee e 8002.15.4	GSM/GPRS CDMA	802.11	Bluetooth
Aplicação Principal	Monitoramento e controle de processos	Transmissão de dados e voz em grandes áreas	Internet de alta velocidade	Conectividade entre dispositivos
Autonomia	Anos	1 semana	1 semana	Semanas
Largura de Banda	250 kbps	Até 128 kbps	11 Mbps	720 kbps
Alcance Típico	mais de 100 m	alguns km	50 - 100 m	10 - 100 m
Vantagens	Baixo consumo de potência e custo reduzido	Infraestruturas já existentes	Altas velocidades	Versatilidade na ligação entre dispositivos

Para avaliar a tecnologia ZigBee, foram escolhidos os módulos XBee fabricados pela Digi International, antiga MaxStream [3]. O XBee é um módulo com um transmissor/receptor ZigBee completo. Há duas versões compatíveis: XBee e XBee PRO. A única diferença reside na potência de transmissão, no entanto para escolher

entre um e outro, deve-se pensar no consumo de corrente como se observa na Tabela 2. Com isso, aplicações com o uso de baterias para alimentar o circuito e consequentemente muitas aplicações com o módulo XBee-PRO ficam inviáveis. Exemplos de módulos e placas de desenvolvimento são apresentados na Figura 2.

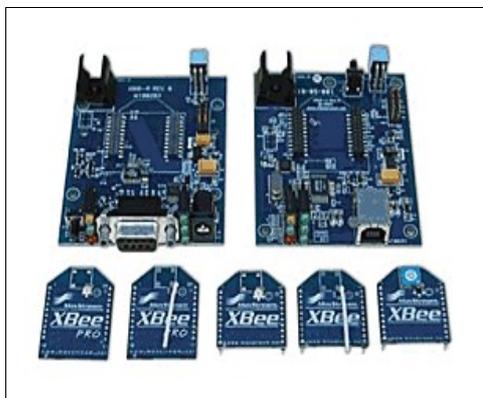


Figura 2 – Módulos Xbee e Xbee PRO, originalmente da Maxstream, fabricados pela Digi Internacional.

Os módulos Xbee já estão prontos para trabalharem numa rede ponto-a-ponto, todos os módulos podem se comunicar entre si. Precisando mudar a configuração do módulo, a Digi disponibiliza o aplicativo X-CTU gratuitamente. O modo de operação escolhido é o modo transparente. Todas as amostras são guardadas em um *buffer* de saída e, em seguida, são enviadas em um pacote de dados. São necessários dois módulos, um é o módulo-base e está conectado ao computador, o outro envia as amostras coletadas.

Tabela 2 - Dados técnicos dos módulos Xbee/Xbee-PRO

	Xbee	Xbee-PRO
Potência de saída	1mW (0 dbm)	60 mW (18 dbm)
Alcance interior	até 30 m	até 100 m
Alcance exterior	até 100 m	até 1600m
Sensibilidade do receptor	-92 dbm	-100 dbm
Frequência de operação	ISM 2,40000 a 2,4835 GHz	
Taxa de transmissão	250 kbps	
Taxa de dados da interface	115,2 kbps	
Tensão de alimentação	2,8V a 3,4V	
Corrente de Transmissão (típica)	45 mA @ 3,3V	215 mA @ 3,3V
Corrente de Recepção (típica)	50 mA @ 3,3V	55 mA @ 3,3V
Corrente em modo Sleep	<10 μ A	
Dimensões	2,438 cm x 2,761 cm	2,438 cm x 3,294cm
Peso	3 g	4 g
Temperatura de operação	-40 a 85 °C (industrial)	

3 APLICAÇÕES

Para avaliar a tecnologia de rede ZigBee foram escolhidas as seguintes aplicações:

- Monitoramento da rede elétrica,
- Monitoramento da deformação, e
- Monitoramento de uma planta de avaliação de medidores de vazão.

3.1 Monitoramento da rede elétrica

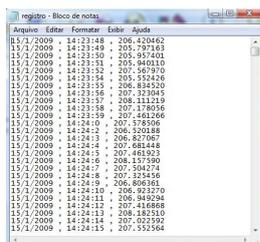
Anomalias na rede elétrica podem alterar o funcionamento de alguns equipamentos e até levar a queima de seus circuitos. Dentro desse contexto, houve a motivação para o monitoramento e análise da rede elétrica. Estudos através de registros da tensão monofásica, com acompanhamento mais detalhado de valores que passam de certo percentual de tensão, possibilitaram a construção de gráficos da tensão caracterizados pelo período do dia e a análise harmônica em relação a frequência fundamental de 60 Hz. A amostragem de corrente será incorporada ao processo através do transdutor de corrente de efeito Hall, para possibilitar estudo mais detalhado sobre a rede. A tecnologia sem-fio ZigBee está sendo integrada ao projeto inicial para facilitar o processo de amostragem diretamente do quadro de energia.

O monitoramento da rede elétrica do Laboratório de Dispositivos e Nanoestruturas (LDN) vem sendo feito com uma antiga placa de aquisição de dados DAS-20 conectada ao computador faz a aquisição dos dados. Esse sistema foi redesenhado para a utilização de instrumentação sem-fio, com a tecnologia ZigBee. As amostras dos valores da tensão monofásica, da tensão de neutro e da corrente monofásica do quadro de luz são coletadas e transmitidas para um computador. A tensão é reduzida com um transformador, condicionada com um amplificador operacional na montagem isolador (*buffer*) e entregue ao módulo XBee para conversão. Para a medição da corrente de fase, foi escolhido um transdutor de corrente da HoneyWell, o CSLA1CD, cujo funcionamento é baseado no efeito Hall, veja Figura 3.



Figura 3 – Transdutor de corrente utilizando efeito Hall, CSLA1CD.

A rede elétrica do LDN é monitorada 24 horas por dia. O programa armazena os dados em um arquivo txt como é mostrado na Figura 4. No arquivo é registrado o dia e a hora em que foi feita a aquisição e o valor da tensão eficaz.



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
15/7/2009	14:23:48	205.420462		
15/7/2009	14:23:49	205.797163		
15/7/2009	14:23:50	205.940910		
15/7/2009	14:23:51	205.940910		
15/7/2009	14:23:52	207.487970		
15/7/2009	14:23:54	205.524226		
15/7/2009	14:23:55	206.484520		
15/7/2009	14:23:56	207.323045		
15/7/2009	14:23:56	208.112158		
15/7/2009	14:23:56	207.718038		
15/7/2009	14:23:59	207.481266		
15/7/2009	14:24:00	207.579556		
15/7/2009	14:24:02	206.320188		
15/7/2009	14:24:03	206.827087		
15/7/2009	14:24:04	207.681428		
15/7/2009	14:24:05	207.483923		
15/7/2009	14:24:06	208.157590		
15/7/2009	14:24:07	207.593274		
15/7/2009	14:24:08	207.323456		
15/7/2009	14:24:09	206.890261		
15/7/2009	14:24:10	206.923270		
15/7/2009	14:24:11	206.949294		
15/7/2009	14:24:12	207.418868		
15/7/2009	14:24:13	208.482510		
15/7/2009	14:24:14	207.022592		
15/7/2009	14:24:15	207.022592		

Figura 4 - Registro da tensão.

Através dos registros, pode-se elaborar gráficos, que facilitem a visualização do comportamento da rede elétrica do laboratório. Percebe-se que o valor eficaz da tensão segue um padrão dependendo do horário do dia. No período da manhã e da tarde, o nível da tensão é mais baixo devido a um maior uso de energia no laboratório. A cada segundo obtém-se 1024 valores da amplitude da tensão e com esses dados, calcula-se a transformada discreta de Fourier. Na Figura 5, compara-se o valor percentual da amplitude dos harmônicos relativo ao primeiro (60 Hz).

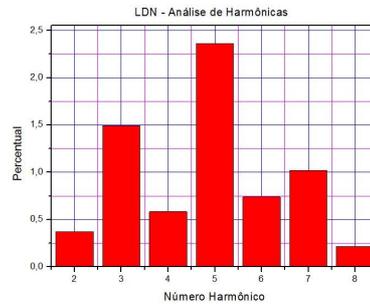


Figura 5 – Gráfico percentual dos harmônicos em relação ao primeiro harmônico.

O módulo XBee é configurado para funcionar com três conversores AD para receber os três sinais medidos: fase, neutro e corrente. A tensão de alimentação do módulo é fornecida pelo regulador LM117, montado na mesma placa para fornecer 3,3 V ao módulo XBee. O módulo envia amostras das tensões ao módulo-base que está ligado ao computador, responsável pelo processamento dos dados recebidos.

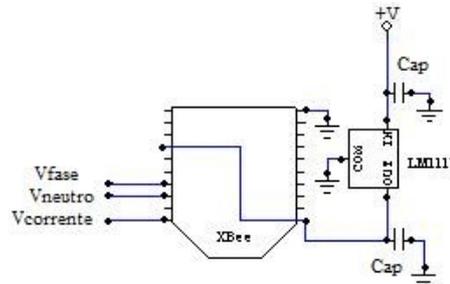


Figura 6 – Circuito com o módulo XBee.

3.2 Monitoramento da deformação

A aplicação seguinte refere-se a conexão do módulo XBee a um extensômetro para o monitoramento remoto da deformação. O extensômetro é muito utilizado no monitoramento de estruturas civis, mecânicas e até mesmo em minas subterrâneas. Sua estrutura básica é formada por uma folha de material isolante que suporta uma grade metálica de material resistivo com 2 terminais. Sua fixação na superfície a ser monitorada é feita com um adesivo, após a limpeza adequada da mesma. O princípio de funcionamento está baseado na mudança da resistência quando submetido a uma deformação. Os extensômetros comerciais vão desde 120 Ω a 5000 Ω e podem ser utilizados em ambientes tanto com altas ou com baixas temperaturas. O extensômetro também pode ser construído com material semicondutor para obter uma maior sensibilidade. Na Figura 7 são apresentados exemplos de extensômetros.

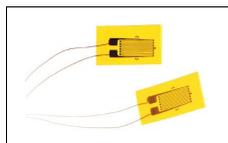


Figura 7 – Exemplos de extensômetros.

Tipicamente, o extensômetro é montado como parte de uma ponte de Wheatstone e conectado a um microcontrolador. Nesse caso, foi escolhido o *Programmable System on Chip*, PSoC, desenvolvido pela Cypress Semiconductor [4]. Esse componente contém um microcontrolador e diversos componentes analógicos que podem ser utilizados na construção do circuito de condicionamento, incluindo amplificadores e filtros. A tensão gerada pela ponte de Wheatstone é aplicada a um amplificador de instrumentação, INSAMP, interno ao PSoC. Os módulos do PSoC são roteados através do software *PSoC Designer 5*, fornecido pela *Cypress Microsystems*. Para o experimento, o PSoC foi configurado com o Amplificador de Instrumentação de modo que a tensão de saída no PSoC fosse 18 vezes maior que a tensão de entrada. O PSoC não trabalha com tensões negativas, sendo necessário um deslocamento de tensão.

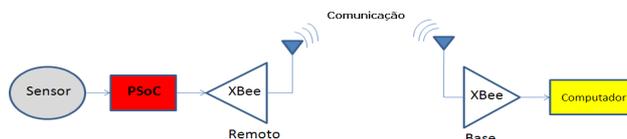


Figura 8 – Configuração com extensômetro, PSoC e módulos XBee.

O conjunto sensor + microcontrolador + interface de comunicação é denominado de sensor inteligente. Combinando o módulo XBee com o PSoC e o transdutor, tem-se a possibilidade de implementar um sensor inteligente e avaliar conceitos introduzidos pela norma IEEE 1451. Na Figura 8, está ilustrado o sistema implementado. O módulo-Remoto colhe o sinal de tensão proveniente do PSoC (V_{Remoto}), e o módulo-Base recebe estes dados e através do programa X-CTU é possível visualizar os dados recebidos (V_{Base}). Na Tabela 3, são apresentados os valores comparativos das tensões que entram no módulo-Remoto e as tensões que chegam ao módulo-Base.

Tabela 3 – Dados comparativos

$R_G(\Omega)$	$V_{\text{Remoto}}(\text{V})$	$V_{\text{Base}}(\text{V})$
560	0,491	0,486
530	0,911	0,903
500	1,290	1,277
470	1,703	1,691
430	2,462	2,441
400	2,993	2,967
380	3,327	3,296

3.3 Monitoramento de uma planta de avaliação de medidores de vazão.

Medição de vazão é de grande importância em processos industriais e em medição fiscal. Tipicamente essa medição é obtida através do diferencial de pressão, utilizando um estrangulamento: placa de orifício, Venturi, bocal. Dentre as técnicas não-convencionais têm-se o transitório de pressão. Vazão é o volume de um fluido por

unidade de tempo que escoar através de uma secção transversal de um conduto. É uma das grandezas mais utilizadas. Dentre as diversas aplicações, pode-se citar a medição de água em estações de tratamento e residências, de gases industriais e combustíveis, entre outros. Junto com a medição da pressão, mede-se a temperatura como uma maneira de corrigir qualquer influência dessa grandeza no valor medido da pressão.

Medição remota da temperatura

Para medir a temperatura, pode-se utilizar diversos tipos de transdutores de temperatura. Um exemplo é *Resistive Temperature Detector*, RTD, que consiste de um filme resistivo, com desenho semelhante ao extensômetro em um suporte rígido. Mantendo uma corrente fixa sobre o RTD, utilizando uma fonte de corrente, como mostrado na Figura 9, a variação da temperatura se transforma em uma variação de tensão.

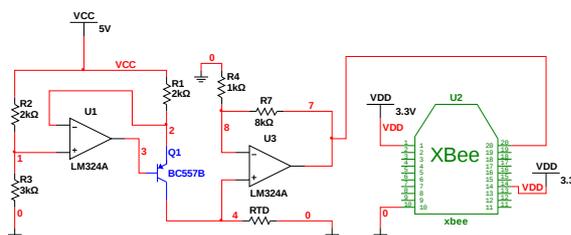


Figura 9 - Esquemático da montagem.

Medição remota da pressão

O método do transitório de pressão, utilizado na medição de velocidade do fluido, é baseado nas propriedades de propagação das ondas de pressão em uma mistura de gás e líquido. Na planta de avaliação de medidores de vazão construída no laboratório, o transitório de pressão pode ser causado por uma válvula, que é fechada rapidamente, gerando ondas que se propagam como pulsos de pressão. A presença da válvula causa uma interrupção no fluido, ponto desvantajoso. No entanto, a variação da pressão está relacionada com a velocidade do fluido através da equação de Joukowski:

$$\Delta P_a = \rho u a \quad (1)$$

onde, ρ é a densidade do fluido, u é a velocidade do fluido e a é a velocidade do som no fluido.

Para se obter a velocidade do som, a , numa mistura água – gás, utilizou-se a equação de Wood.

$$a = \frac{\left[\frac{f}{\rho_g u_g^2} + \frac{(1-f)}{\rho_l u_l^2} \right]^{-1/2}}{\left[f\rho_g + (1-f)\rho_l \right]^{1/2}} \quad (2)$$

onde, f é a fração do gás na mistura, ρ_g é a densidade do gás, ρ_l é a densidade do líquido, u_g é a velocidade do som no gás e u_l é a velocidade do som no líquido.

No cálculo da velocidade do som na água, levou-se em consideração as condições de salinidade, temperatura e profundidade/pressão. A partir de [1], foi possível implementar um programa, utilizando o software *Scilab*, que permitisse ao usuário quatro maneiras de calcular a velocidade desejada. Para o cálculo da velocidade do som no gás, o processo foi mais simples, ao considerar o gás ideal e fazer uso da equação geral dos gases ou Lei de Boyle.

Um programa para o cálculo da velocidade na mistura, foi implementado no aplicativo *Scilab*. Após simulação, para gás H_2 e para água com salinidade de 10 partes por milhão, a $10\text{ }^\circ\text{C}$ e a 60 bar, obteve-se o gráfico da Figura 10. A partir do gráfico, é possível notar que uma leve presença de gás, diminui sensivelmente a velocidade do som na mistura. Ao acrescentar mais gás, contudo, esse decréscimo da velocidade do som passa a não ser tão visível, se mantendo em torno de um valor médio. Como era de se esperar, quando não há gás, a velocidade do som equivale à velocidade do som somente na água. Situação semelhante ocorre quando há somente gás.

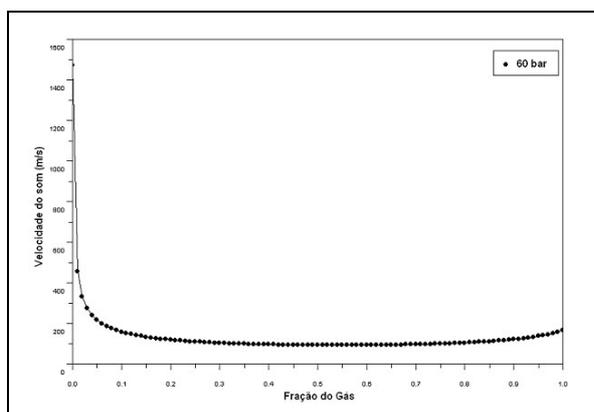


Figura 10: Gráfico da velocidade do som, em m/s, versus fração do gás.

O sensor de pressão sendo utilizado é do tipo piezoresistivo, a pressão é transmitida utilizando um enlace de corrente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando o que foi exposto neste trabalho, conclui-se que, experimentos didáticos, seja ele em qualquer área, contribuem e muito para a formação do aluno. É de suma importância, para alunos, não somente da área de engenharia, um contato maior com experimentos práticos, em laboratório. O conhecimento só é adquirido em sua plenitude quando o aluno tem a oportunidade de testar, de raciocinar e de procurar soluções para o que está sendo estudado na parte teórica. Neste trabalho foram apresentadas diversas aplicações onde foram adicionadas a comunicação em rede sem-fio. Em todas elas, foi possível implementar a comunicação, mas ainda está em avaliação o real desempenho desse modo de comunicação. O dado está sendo transmitido, mas o que fazer se há perda de dado? Qual a limitação imposta pela taxa de transmissão e latência do sistema, no desempenho geral do sensor?

Deve-se ficar atento ao fato de que muitos cursos, incluindo o ensino de nível médio, tendem a ter um alto teor de carga teórica, prejudicando a assim a parte prática, levando o aluno a não estar preparado em situações que serão aparentemente triviais após o curso de graduação. Em experimentos como este é possível verificar os comparativos em teoria e prática, fazendo com que o aluno vá, de certa forma, preparado quando precisar realizar algum ensaio ou até mesmo no ambiente de trabalho.

Vale salientar também a interdisciplinaridade, que é sem dúvida outro fator de qualidade de um curso. Muitas vezes alunos reclamam que o que é aprendido em uma disciplina eles não vêem aplicação, o que gera um certo desestímulo. Neste experimento, são necessários vários conceitos de disciplinas que são estudadas durante a

graduação de Engenharia Eletrônica, como por exemplo: O uso da Análise de Circuitos, que é visto na disciplina de Circuitos Elétricos I, para a Ponte de Wheatstone; as noções básicas de microcontroladores que são mostradas na disciplina de Microcomputadores.

E para finalizar devemos ter em mente que, para que haja uma boa formação de um estudante de ensino superior, em particular um estudante de engenharia, é preciso fazer com que ele sempre ande em cima da linha que divide a Teórica da Prática, tendo o cuidado para que ele não se desvirtue apenas para um lado, pois a idéia é integrar ambos os lados.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro da FINEP e PETROBRAS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Shahin Farahani, **ZigBee Wireless Networks and transcievers**, Newnes/Elsevier, Amsterdam (2008)
- [2] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [3] Digi International, <http://www.digi.com>
- [4] Cypress Semiconductor, <http://www.cypress.com>
- [5] Johnson, T. M. **Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)**. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne_johnson/rssf-intro.htm> Acesso em: 25 mai. 2009.
- [6] Fonseca, F. L. **Redes de Sensores Sem Fio**. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/~rezende/cursos/eel879/trabalhos/wsn/>> Acesso em: 29 mai. 2009.
- [7] Messias, A. R. **Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**. Disponível em: < <http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>> Acesso em: 30 mai. 2009.
- [8] Allwine, D. A. A. **PERSONAL COMPUTER BASED DATA ACQUISITION, SENSING AND CONTROL**. Disponível em <http://www.ohiolink.edu/etd/send-pdf.cgi/Allwine%20Daniel%20Alan.pdf?acc_num=ohiou1174932273> Acesso em: 03 jun. 2009.
- [9] Honeywell, **Solid State Sensors**. Disponível em <http://www.honeywell-sensor.com.cn/prodinfo/sensor_current/catalog/c20054.pdf> Acesso em: 03 jun. 2009.
- [10] Oyarce, A. O. **Guia Del Usuario: XBee Series 1, DOCUMENTO PRELIMINAR**. Disponível em < http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf> Acesso em: 03 jun. 2009.
- [11] ABLITT, J.; *Underwater Acoustics: Technical Guides – Speed of Sound in Sea-Water*. National Physical Laboratory. Teddington, Middlesex, UK, 2000.
- [12] ALBUQUERQUE, F. E. F. **Implementação do Controle da Velocidade de Giro de uma Bomba d'Água em uma Jiga de Testes para Medidores de Vazão**. Recife, 38 p., 2008. Relatório Final de Estágio Curricular - Universidade Federal de Pernambuco.
- [13] AZEVEDO, L. F. A. Introdução à Medição de Vazão, Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio.
- [14] COSTIGAN, G.; WHALLEY, P.B. Measurements of the speed of sound in air-water flows. **Chemical Engineering Journal**, 66/1997
- [15] GUDMUNDSSON, J.S. Gas-Liquid Metering Using Pressure-Pulse Technology. In: 1999 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, TX.
- [16] SALEIRO, M.; EY, E. **Zigbee Uma Abordagem Prática**. Disponível em: < http://www.lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf > Acesso em: 01 jun. 2009.

EDUCATIONAL EXPERIMENTS IN ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK: DATA LOGGING AND INSTRUMENTATION

Abstract: *The widespread usage of wireless network technologies, and specially wireless sensor networks, WSN, makes necessary the introduction of such technology in the Electrical Engineering curricula. In particular, this subject may have a motivating role in the study of electromagnetic theory. Since 2008, we started to present this technology to undergraduate students of Electronic Engineering at UFPE. The initial group is made of scientific initiation students, who got the job of adding wireless network technology in many applications. The selected technology is ZigBee (Xbee/XBee-PRO modules from Maxstream/Digi International), because it is more appropriate with sensors found in industrial automation. The applications in this paper are electrical power monitoring, and data logging of physical quantities: strain, temperature, and pressure.*

Keywords: *wireless network, ZigBee, power quality, strain, temperature, pressure.*