

# TRANSMISSÃO DE SINAIS BIOMÉDICOS UTILIZANDO A TECNOLOGIA ZIGBEE

Sérgio R. J. Oliveira, Alcimar B. Soares, Catherine Pancotto

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)  
Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT)  
Núcleo de Pesquisa em Engenharia Biomédica  
Uberlândia, MG, Brasil 38400-902

e-mail: [srjesus@ufu.br](mailto:srjesus@ufu.br), [alcimar@ufu.br](mailto:alcimar@ufu.br), [catherine.pancotto@gmail.com](mailto:catherine.pancotto@gmail.com)

**Resumo** – Este documento mostra a viabilidade da aplicação da tecnologia ZigBee na transmissão sem fio de sinais biomédicos. Para isso foram utilizados dois módulos ZigBee fabricados pela Xbee, sendo um para conexão ao sensor biomédico (transmissor) e o outro para conexão ao computador (receptor), cuja função é receber os sinais capturados. Os resultados obtidos até o momento sugerem que, em sistemas de comunicação sem fio a baixas taxa de comunicação, esta tecnologia se aplica de forma bem satisfatória. Entretanto, em aplicações on-line os resultados obtidos com os estudos preliminares, mostraram que a aplicação do protocolo de comunicação ZigBee ainda não é viável.

**Palavras-Chave** – ZigBee, Modo API, Sem Fio, Sensor, Biomédico.

## TRANSMISSION OF BIOMEDICAL SIGNALS UTILIZING ZIGBEE TECHNOLOGY

**Abstract** - This paper shows the viability of applying the Zigbee technology in wireless transmission of biomedical signals. For that purpose were used two XBee modules manufactured by ZigBee, one for connection to the biomedical sensor (transmitter) and the other for connection to the computer (receiver), which function is to receive the signals captured.

The results obtained so far suggest that, in wireless communication systems at low rate of communication, this technology is applied in a very satisfactory way. However, in online applications, the results of preliminary studies showed that application of ZigBee communication protocol is not yet viable.

**Keywords** - ZigBee, API Mode, Wireless, Sensor, Biomedical.

## INTRODUÇÃO

A comunicação sem fio, que hoje é uma realidade comum entre equipamentos de informática, tem despertado grande interesse entre pesquisadores da área de engenharia biomédica. Reais benefícios como a isolação galvânica, mobilidade, praticidade, conforto etc, podem ser obtidos com esta tecnologia em aplicações de polissonografia, controle de equipamentos através de sinais biomédicos, monitoramento de sinais biomédicos durante atividades físicas entre outras.

Diante deste cenário, este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de comunicação sem fio entre um sensor biomédico e um computador. Para validação da proposta foi avaliado o desempenho, no que se refere ao alcance do sinal de rádio frequência e o tempo de atraso entre a transmissão e a recepção do sinal, através dos módulos XBee.

## I. O ZIGBEE

Os dispositivos ZigBee permitem o estabelecimento de comunicações sem fio de forma bastante simples operando, aqui no Brasil, na frequência de 2,4 GHz com 16 canais e não requerem licença para funcionamento. As redes ZigBee oferecem uma excelente imunidade contra interferências e pode hospedar milhares (até 65.000) de dispositivos numa rede, com taxas de até 250kbps.

Os módulos RF padrão ZigBee apresentam um baixíssimo consumo de energia (por volta de 1 mW). Com isso, é possível criar dispositivos sensores remotos alimentados com pilhas ou baterias comuns, que poderão durar meses sem ser substituídas.

### A. Descrição Técnica do Dispositivo

Características do módulo *XBee*:

- Potência de saída: 1 mW;
- Alcance em ambientes internos: até 30m;
- Alcance de RF em visada direta para ambientes externos: até 100m;
- Sensibilidade do receptor: -92 dBm;
- Frequência de operação: ISM 2.4 GHz;
- Taxa de dados de RF: 250.000 bps;
- Taxa máxima de dados da Interface serial: 1Mbps;
- Tensão de alimentação: 2.8 à 3.4V;
- Corrente de transmissão (típico): 45 mA @ 3.3 V;
- Corrente de recepção (típico): 50 mA @ 3.3 V;



X CEEL - ISSN 2178-8308  
24 a 28 de setembro de 2012  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

- Corrente de *Power-down/ Sleep*: <10  $\mu$ A;
- Dimensões: (2.438cm x 2.761cm);
- Peso: 0.10 oz (3g);
- Temperatura de operação: -40 to 85° C (*industrial*);
- Tipos de antena: Conector U.FL RF, Chip ou Chicote (whip);
- Criptografia: 128-bit AES;

### B. Especificação de Hardware do Dispositivo

A figura 1 mostra o módulo ZigBee fabricado pela XBee. Este módulo é configurável para os três tipos de dispositivos definidos pelo protocolo ZigBee: Coordenador, Roteador e Dispositivo Final. Todo o processo de configuração pode ser realizado tanto pela porta serial RS232C disponível no módulo, quanto de forma remota, através do canal RF.



Figura 1 – Módulo XBee.

### C. Tipos de Configurações para ZigBee

A rede ZigBee é formada por três tipos de dispositivos, sendo eles: o Coordenador, o Roteador e o Dispositivo Final (“End Device”). Todos eles podem gerar sinais de controle para o hardware no qual estiverem conectados e ainda receber informações deste. Entretanto, cada um possui características específicas as quais são apresentadas a seguir:

#### Coordenador

O coordenador é responsável pela criação da rede (PAN), geração de endereços (PAN-ID) para os dispositivos na rede, reconhecimento dos nós, escolha do canal de rádio frequência entre outras funções. Somado a isso, através do coordenador pode-se criar uma ponte entre outras redes ZigBee.

#### Roteador

Atua na rede como roteador das mensagens provenientes de outros dispositivos conectados a ele. Esta tarefa é realizada sem a dependência do coordenador. Internamente ele possui uma tabela de endereços dos dispositivos que estão sob sua responsabilidade de roteamento. É através do dispositivo roteador que a rede ZigBee pode ter seu alcance expandido indefinidamente. Isto é possível pelo fato de que, uma mensagem originada em um dispositivo, que se encontra distante do dispositivo destino, transitará de roteador em roteador até atingir o destino.

Através dos dispositivos Coordenador e Roteador, uma mensagem na rede ZigBee pode dispor de vários caminhos possíveis entre a origem e o destino na rede para

tráfego da informação. Desta forma, é possível eliminar falhas se um nó estiver inoperante, simplesmente mudando a trajetória da informação.

#### Dispositivo Final

O Dispositivo Final tem poderes somente para gerenciar atuadores e sensores conectados ele e apesar de não poderem realizar roteamento, apresentam o menor consumo de energia entre os três, uma vez que na maior parte do tempo o mesmo encontra-se no modo *Sleep* (dormindo). Sempre que não estiver transmitindo ou recebendo, o modo *Sleep* é automaticamente ativado e em períodos pré-definidos o mesmo deixa o modo *Sleep*, verifica se há mensagens para ele e se houver recebe-as voltando em seguida para o modo *Sleep*. Outra maneira de tirá-lo do modo *Sleep* é conseguido através da mudança de nível em um pino específico no dispositivo.

### D. Topologias de Redes ZigBee

Aqui será descrito os tipos rede de dispositivos ZigBee e suas características de funcionamento.

#### Topologia Malha (*Mash*)

Na topologia *Mash* a rede pode se organizar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saída de dispositivos na rede. A rede se auto-organiza para otimizar o tráfego de mensagens. Com vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós, este tipo de rede pode abranger uma grande extensão de área, podendo ser implementada em praticamente qualquer tipo de local. Uma vez inicializado o coordenador, os demais dispositivos podem se juntar à rede criando assim o conceito de malha (*mesh*). A figura 2 mostra o modelo desta topologia.

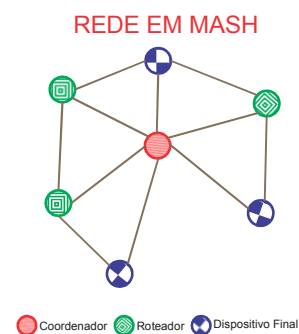


Figura 2 – Esquema de propagação de informação na topologia em malha – *Mash*

#### Topologia Árvore (*Cluster Tree*)

Semelhante à topologia de malha, contudo, na topologia em Árvore o coordenador tem a responsabilidade de efetuar a troca de informações entre os nós roteadores que estão no nível abaixo do coordenador. Nesta topologia é possível que Dispositivos Finais sejam endereçados diretamente pelo coordenador, como pode ser observado na figura 3.

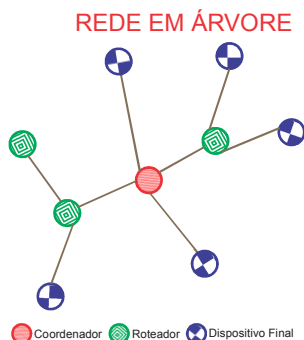


Figura 3 – Esquema de propagação de informação na topologia em Árvore.

### Topologia Estrela (Star)

É uma das topologias de rede ZigBee mais simples de ser implementada e é composta por um nó coordenador e quantos nós de Dispositivos Finais forem necessários. Nesta topologia não é comum utilizar-se Roteadores, entretanto, estes podem ser utilizados, contudo, a função de roteamento deverá estar inativa. Desta forma, todos os dispositivos da rede deverão obrigatoriamente se comunicar com o coordenador. Em outras palavras, o destino das informações nos Dispositivos Finais deverá ser sempre o coordenador. Neste tipo de rede, obtêm-se excelentes taxas de comunicação, uma vez que a comunicação é sempre ponto-a-ponto e sem roteamento. Por outro lado, os dispositivos não poderão estar muito distantes do coordenador, pelo fato de que o alcance é bastante limitado. Em função disso, este tipo de rede deverá ser instalada em locais com poucos obstáculos entre os dispositivos e a uma curta distância (menor que 30 metros), como é o caso de salas, escritórios, laboratórios etc. Para aplicação em monitoramento de sinais biomédicos esta topologia é preferencial e cuja estrutura é mostrada na figura 4.

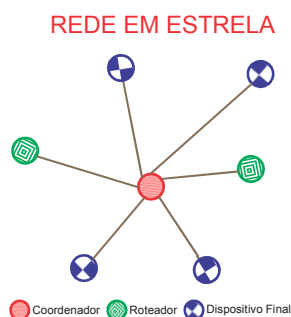


Figura 4 – Esquema de propagação de informação na topologia em Estrela

### E. Modos de Operação da Rede ZigBee

#### Beaconing

Todos os dispositivos com funções de roteador transmitem de tempos em tempos sinalização para tentar confirmar sua presença aos outros roteadores da mesma rede. Já os outros nós da rede só precisam estar ativos no momento da sinalização, como é o caso dos Dispositivos Finais, mas estes devem ser configurados para perceber o período em que ocorrerá esta sinalização, pois no modo *beaconing* a maioria

dos dispositivos permanecem no modo *Sleep*. Nesse modo, o consumo de energia é mínimo.

#### Non-Beaconing

Nesse modo, a maioria dos dispositivos da rede permanece sempre com seus receptores ativos, consumindo mais energia. É importante notar que, nesse modo, os dispositivos devem ser alimentados com fontes de energia mais potentes e duradouras que pilhas ou baterias comuns.

### F. Modos de Operação do Dispositivo ZigBee

Existem dois modos de operação no qual pode-se configurar os dispositivos. Esses modos são o AT, que é o modo transparente, no qual os dispositivos da rede funcionam de forma similar a um canal RS232C sem fio, e o modo API cujo funcionamento é baseado em *frames* (quadros). Somente neste modo é possível explorar todas as potencialidades dos dispositivos Zigbee, permitindo, além da transferência de dados entre um dispositivo e outro, a configuração local e remota de cada dispositivo da rede, tanto no que se refere às configurações de software quanto de hardware.

O modo de comunicação utilizado neste trabalho foi o API (*Application Programming Interface*) pelos benefícios de controle da comunicação mais amplos. Através desse modo de operação é possível um determinado dispositivo enviar endereço fonte, endereço destino, nome de um determinado nó, sinal RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), estado, comandos I/O, etc.

Todos os dados que entram e saem do módulo estão contidos em quadros que definem as operações ou eventos dentro do mesmo. Estes quadros caracterizam o modo de operação API. Este modo exige que a comunicação com o dispositivo seja feita através de uma interface estruturada, na qual os dados dentro do quadro têm uma ordem definida, podendo haver vários tipos de configurações, dependendo do objetivo desejado: transmissão de dados, leitura de *Status* ou configuração remota ou local etc.

A opção API facilita muitas operações, tais como:

- A transmissão de dados para vários destinos (*broadcast*) ou para um destino específico (*unicast*);
- Receber o *status* de sucesso ou fracasso de cada pacote RF transmitido;
- Identificar o endereço de origem de cada pacote recebido.

### G. Estrutura do Pacote API

No modo API, quando há necessidade de enviar alguma informação (comando ou dados) deve-se estruturá-la em um pacote para que esta seja entregue ao dispositivo desejado adequadamente. A figura 5 mostra a estrutura a ser seguida:

Delimitador de início (Byte 1)	Tamanho do quadro de dados (Bytes 2 e 3)		Quadro de Dados (Bytes 4 a n)	Checksum (Byte n+1)
0x7E	MSB	LSB	API do quadro	1 Byte

Figura 5 - Estrutura do pacote API

## Delimitador de início

Todo pacote começa com o Delimitador de Início, sendo seu valor sempre igual a 0x7E.

## Tamanho do quadro de dados

Determina o tamanho do quadro de dados, contando o número bytes contidos no quadro de dados e armazenado o resultado nos bytes 2 e 3.

## Quadro de dados

Os bytes indicando o tipo de quadro, as configuração da comunicação, o endereço do dispositivo destino, comando, valores etc, deverão estar situados no Quadro de dados. É nele onde se encontram as informações que efetivamente deverão ser transmitidas.

## Checksum (Verificação dos dados)

O checksum tem por objetivo verificar a integridade do Quadro de dados transmitido. O valor do checksum é armazenado no último byte do pacote e é obtido da seguinte forma:

1. Soma-se todos os bytes do Quadro de dados;
2. Trunca-se o valor obtido em um byte. O valor obtido será somente o byte LSB da somatória;
3. O valor do checksum é obtido pela seguinte subtração:

$$checksum = 0xFF - somatória\ truncada$$

Sempre que um pacote de dados é recebido pelo módulo XBee, o Checksum é calculado e caso este falhe na verificação, o pacote é descartado e uma mensagem indicando falha na recepção é imediatamente enviada ao transmissor, se esta opção estiver habilitada.

## H. Definição do Quadro de dados API

O Quadro de dados pode assumir diversos tipos em função do tipo de informação a ser transmitida, conforme tabela a seguir:

Nome dos Quadros de Dados API	Identificador API
Comando AT	0x08
Comando AT com parâmetro em fila	0x09
Requisição de Transmissão ZigBee	0x10
Comando com endereçamento explícito ZigBee	0x11
Requisição de comando remoto	0x17
Criação de rota fonte	0x21
Resposta ao comando AT recebido	0x88
Estado do Modem	0x8A
Estado da transmissão ZigBee	0x8B
Pacote ZigBee recebido (AO=0)	0x90
Indicador de Rx ZigBee explícito (AO=1)	0x91
Indicador de Resposta contendo a amostra de dado I/O solicitada	0x92
Indicador do sensor ZigBee lido (AO=0)	0x94
Indicador de identificação do nó (AO=0)	0x95
Resposta de um comando remoto	0x97
Atualiza o status do Firmware pelo ar	0xA0
Indicador de rota armazenada	0xA1
Indicador de requisição de rota Many-to-One	0xA3

Tabela 1 – Tabela referente aos tipos de Quadros de dados.

Neste projeto foi utilizado somente o Quadro de dados 0x10 para transmissão de dados do sensor para o Coordenador (computador) e o Quadro de dados 0x90 que é automaticamente gerado pelo ZigBee Coordenador em direção ao computador via RS232C, cujas características específicas de cada um serão descritas adiante neste documento.

## II. O PROJETO

O projeto desenvolvido está dividido em duas partes, a saber:

1. Transmissor ZigBee (sensor);
2. Receptor ZigBee (computador);

### A. Transmissor ZigBee

Esta parte tem a função de ler a informação biomédica (EMG, EEG, ECG etc), digitalizá-la, formatá-la em pacotes e transmiti-la para o Receptor ZigBee. A estrutura do hardware para essa etapa é mostrada no diagrama de blocos da figura 6.

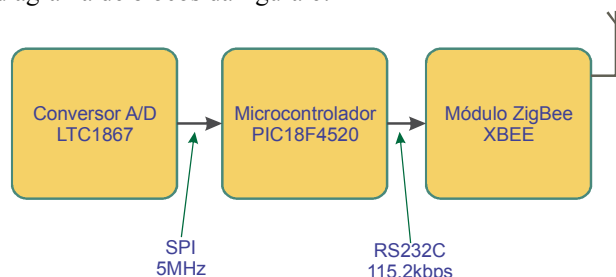


Figura 6 – Diagrama de blocos do Transmissor ZigBee.

O primeiro bloco refere-se à etapa de captura e digitalização do sinal, a qual foi implementada utilizando-se o conversor A/D LTC1867 de 16 bits. O mesmo foi configurado para operar com apenas um canal, sem polaridade e com a palavra binária sem sinal.

O LTC1867 está conectado a um microcontrolador do tipo PIC18F4520 através da porta SPI (*serial port interface*) com frequência de operação de 5 MHz, tendo o PIC operando como dispositivo mestre da comunicação e o LTC1867 como escravo.

Na gerência da comunicação, o PIC gera um pulso de nível alto com duração de 4µs no pino CS/CONV do A/D iniciando a conversão. O tempo de 4µs foi necessário para que o A/D finalize a conversão. Terminado este tempo, o PIC aciona a porta SPI lendo os dois bytes referentes à conversão realizada e já preparando o A/D para a próxima conversão.

Os dados lidos do A/D são armazenados em uma memória FIFO (*First in first out*), desenvolvida no próprio software, com o objetivo de garantir uma frequência de aquisição fixa das amostras vindas do A/D.

O procedimento utilizado para garantir uma frequência fixa de aquisição, foi conseguido através da utilização da interrupção gerada pelo temporizador Timer 0 do PIC, de modo que a cada estouro de contagem uma nova amostra (digitalização) é gerada.

Os dados armazenados na FIFO são organizados em um pacote de dados API do tipo *Requisição de Transmissão ZigBee – 0x10*, cuja estrutura é mostrada na tabela 2.



O endereço de destino definido no quadro da API é fixado em zero. Isto significa que o dispositivo transmissor (sensor) sempre transmitirá seus dados diretamente para o coordenador, evitando assim perda de tempo durante a transmissão. Esse tipo de configuração caracteriza-se como rede em estrela, como já descrito anteriormente.

Nº	Nome	Valor	Descrição
1	Início	7E	
2	Tamanho	2 bytes	Tamanho do Quadro de Dados
4	Tipo de quadro	0x10	Requisição de Trans. ZigBee
5	Define o tipo de resposta (ACK)	00	Sem ACK
6	End. do dispositivo destino	8 bytes	Nº de série do dispositivo
14	End. de rede do dispositivo destino	2 bytes	Gerado pelo coordenador (PAN-ID)
16	Nº de saltos até o destino	00	00 = Nº máx. de saltos
17	Define informações adicionais de transmissão.	00	00 = Não usado
18	Nº de amostras lidas do A/D	16 bytes	8 amostras de 16 bits cada
34	Checksum	1 byte	CKSUM = FF-( $\sum_{4^{\circ} \text{ ao } 33^{\circ} \text{ byte}} * 00FF$ )

Tabela 2 – Estrutura do Quadro de dados Requisição de Transmissão.

O pacote definido na tabela 2 é mantido montado na memória do PIC restando apenas a inclusão dos dados lidos do A/D através da FIFO e por fim o cálculo do checksum, cujo resultado é armazenado na posição 34 do quadro de dados.

Uma vez montado o pacote, o mesmo é transmitido pela porta serial do PIC18F4520 ao ZigBee a uma taxa de 115,2 kbps. A configuração do módulo XBEE utilizado nesta etapa é do tipo Roteador, pelo fato de que, nesta configuração, o módulo não entra no modo *sleep*, o que é uma condição desejável para um sensor biomédico.

### B. Receptor ZigBee

De posse do pacote, o módulo Zigbee instalado no sensor encarrega-se de transmiti-lo ao coordenador o qual está ligado ao computador e que irá receber estas informações apresentando-as na tela do monitor. O diagrama de blocos mostrado na figura 7, apresenta a conexão entre o módulo ZigBee e o computador.

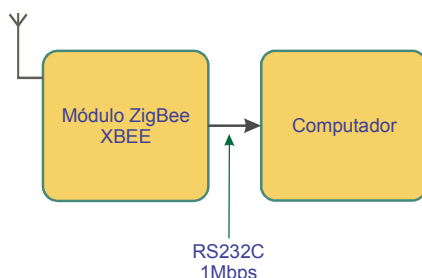


Figura 7 - Diagrama de blocos do Receptor ZigBee.

Na referida figura, o módulo XBEE apresentado foi configurado como Coordenador, tornando-o encarregado das tarefas de criar a rede sem fio, definir o endereço de rede do módulo XBEE localizado no sensor e estabelecer a comunicação com o computador através da RS232C.

A taxa de transferência definida para a comunicação com o computador foi de 912kbps. Foi escolhido esse valor de modo a permitir a inclusão de outros sensores no projeto sem provocar congestionamento de dados entre o Coordenador e o computador.

Cada pacote de dados proveniente do módulo ZigBee instalado no sensor e recebido pelo Coordenador é transmitido para o computador seguindo o formato definido na tabela 3.

Nº	Nome	Valor	Descrição
1	Início	7E	
2	Tamanho	2 bytes	Tamanho do Quadro de Dados
4	Tipo de quadro	0x90	Pacote ZigBee recebido
5	End. de origem do pacote	8 bytes	Nº de série do dispositivo de origem
13	End. de rede do dispositivo destino	2 bytes	Gerado pelo coordenador (PAN-ID)
15	Opções de Recepção	01	01 = Recepção OK
16	Dados Recebidos	16 bytes	8 amostras (16 bits cada)
32	Checksum	1 byte	CKSUM = FF-( $\sum_{4^{\circ} \text{ ao } 33^{\circ} \text{ byte}} * 00FF$ )

Tabela 3 – Estrutura do Quadro de dados Requisição de Transmissão.

Quando o computador recebe o pacote, o mesmo é processado através de um aplicativo no computador objetivando:

1. Identificar se os dados foram recebidos sem erros;
2. Identificar a origem dos dados. Este recurso será útil futuramente quando houver mais de um sensor se comunicando com o módulo Coordenador;
3. Separar as amostras recebidas;
4. Apresentar estas amostras em um gráfico.

Para a realização desta tarefa, o software lê o *buffer* da porta serial buscando o delimitador de início 0x7E. Após encontrá-lo, é realizada a verificação do número de bytes a serem lidos (tamanho do Quadro de dados – API) e em seguida o tipo de pacote recebido, que neste caso o esperado é 0x90, indicando Pacote ZigBee recebido. Se estes valores estiverem concordantes com aqueles definidos na tabela 3, os demais bytes do pacote são lidos e o checksum é calculado e comparado com o último byte do pacote. Estando correto, procede-se a separação do endereço de origem do pacote e dos dados referentes às amostras. Estas últimas são apresentadas na tela do computador para avaliação do sistema no que se refere a perda de dados (pacotes).

Após o sistema estar operando corretamente, algumas análises foram realizadas e cujos resultados são discutidos a seguir.

## III. RESULTADOS

Neste primeiro estudo, foram realizados dois tipos de análises, sendo uma a taxa de transmissão, considerando a perda de dados e o tempo de atraso entre a transmissão do pacote pelo ZigBee instalado no sensor e a chegada deste ao Coordenador.

### A. Avaliação da Taxa de Transferência

Para avaliação da taxa de transferência, o microcontrolador do circuito sensor foi programado para operar em frequências de aquisição de até 1,22 kHz e a porta serial, destinada a comunicação com o módulo ZigBee, foi configurada para operar na taxa de 115,2 kbps. Daí em diante o sensor foi distanciado do módulo Coordenador até que erros de recepção começassem a ocorrer. Esta verificação foi realizada comparando-se o número de pacotes transmitidos e recebidos. Quando este número tornava-se diferente, mais pacotes transmitidos do que recebidos, isso indica a chegada de pacotes com erro e, portanto, descartados pelo ZigBee em função da falha no Checksum. Observou-se que este erro começou a acontecer a partir de aproximadamente 18 metros de distância entre o transmissor (sensor) e o receptor (módulo Coordenador), sempre com visada direta entre eles. Este experimento não apresentou perda de dados para frequências de aquisição de até 610Hz. Acima deste valor, a perda de pacotes ocorreu independente da distância entre o transmissor e o receptor.

### B. Avaliação do Tempo de Atraso

A avaliação do tempo de atraso foi realizada utilizando-se um osciloscópio, tendo um canal conectado ao pino RX do módulo XBEE transmissor e o outro conectado ao pino TX do módulo receptor, o qual está conectado ao pino RX da RS232C do computador. Durante o tempo em que a RS232C não está transmitindo, o sinal TX permanece em nível alto, indo para nível baixo (start bit), indicando a transmissão de um novo dado. Desta forma, o tempo entre o início da transmissão (start bit do primeiro dado do pacote) até o início da recepção deste pacote pelo computador (primeiro start bit da recepção) foi mensurado através do osciloscópio. Este tempo, cujo valor foi de aproximadamente 11 ms, foi observado de forma bastante estável para frequências de aquisição não superiores a 305 Hz. Para a frequência de aquisição de 610 Hz, o tempo

de atraso continuou estável, contudo, observou-se alguma perda de pacotes. Para a frequência de 1,22kHz observou-se que o tempo acima referido tornou-se instável, ao mesmo tempo em que houve uma grande quantidade de pacotes perdidos.

## IV. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos até o presente momento, a aplicação desta tecnologia em circuitos cuja resposta on-line seja necessária, não se mostrou viável. Contudo, existe uma grande quantidade de modos operação e características dos módulos XBEE que ainda não foram integralmente explorados e que podem indicar novos caminhos para se obter altas taxas de transmissão de dados, sem perdas de pacotes. Os resultados apresentados neste documento são ainda preliminares e não conclusivos. Por outro lado, estes primeiros resultados sugerem que, em sistemas de comunicação sem fio a baixas taxa de comunicação, esta tecnologia se aplica de forma bem satisfatória. As pesquisas sobre a comunicação sem fio através dos módulos ZigBee terão continuidade, objetivando a construção de um sistema multicanal de comunicação via ZigBee destinado a captação de sinais biomédicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (EXEMPLOS)

- Digi International Inc. “XBee Series 2 OEM RF Modules”, 2007.
- Sergio R. Caprile, “XBee - Desarrollo de Aplicaciones con Comunicación Remota Basadas en Módulos ZigBee y 802.15.4”, 2010.
- Microchip, “PIC18F2420/2520/4420/4520 Data Sheet”, 2004.
- GUTIÉRREZ, E. M. “Telemetria: aplicação de redes de sensores biomédicos sem fio”, 2006, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Tecnologia, UnB.