

# PROPOSTA DE UM ANALISADOR DE REDE SEM FIO MULTICANAL PADRÃO IEEE802.15.4

Rafael A. de Carvalho, Vitor H. Prado, Renato F. Fernandes, Josué S. de Morais  
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG,  
rffernandes@eletrica.ufu.br

**Resumo** – Atualmente tem-se notado um enorme interesse em redes sem fio nas mais diversas áreas e com diferentes características de performance, robustez e segurança. As redes do padrão IEEE802.15.4 é uma das redes mais difundidas quando se trata de sensores sem fio e tem mostrado força também em ambiente industrial. E o padrão que mais se destaca atualmente no ambiente industrial é o WirelessHART que segue as especificações das camadas física e de enlace do padrão IEEE802.15.4 e traz desafios de sincronismo, disponibilidade e garantia de qualidade de serviço em ambiente multi-canal.

Neste contexto de redes de sensores sem fio multi-canal principalmente em ambiente industrial, este artigo visa apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta de análise de redes sem fio multi-canal usando o protocolo IEEE802.15.4 visando principalmente o protocolo WirelessHART.

**Palavras-Chave** – Analisador de Rede, redes de sensores sem fio, WirelessHART, redes industriais.

## A PROPOSAL FOR A MULTI-CHANNEL IEEE802.15.4 WIRELESS SENSOR NETWORK ANALYSER

**Abstract** - Currently it has been noticed a huge interest in wireless networks under different scenarios. Networks IEEE802.15.4 standard is one of the most widespread networks in wireless sensor networks and has shown strength in restricted industrial environment. In particular, the specification of the physical and data link layers that bring challenges of timing, safety and reliability. Moreover, the standard of the industrial environment that stands out most is currently the WirelessHART.

In the context of wireless sensor networks mainly in industrial environment, this paper aims to present the development of a tool for analyzing multi-channel wireless networks using IEEE802.15.4 wireless protocol primarily targeting the WirelessHART protocol.

**Keywords** – Network Analyser, Wireless Sensor Network, WirelessHART, industrial networks.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia de redes sem fio vem tendo um aumento muito grande nas mais diferentes áreas e aplicações e também na área industrial. O uso de redes sem fio na indústria tem se tornado atrativo por vários motivos como facilidade no setup da planta, manutenção, flexibilidade e possibilidade de fornecer soluções onde até então não era viável com tecnologia com fio [1],[2]. No ambiente industrial, os fieldbuses sem fio são usados para interconectar equipamentos no nível do chão de fábrica, como sensores, atuadores e controlador, entre outros.

Um padrão que se destaca atualmente em diferentes aplicações de redes de sensores sem fio é o padrão IEEE802.15.4. No ambiente industrial se destacam os protocolos baseados no IEEE802.15.4 como WirelessHART e ISA100 [1]. A meta destes protocolos é estabelecer uma comunicação padrão em redes sem fio (wireless) para aplicações em automação de processos industriais usando multi-canal, e com salto em frequência que possibilita uma confiabilidade maior em relação aos problemas de espelhamento e de interferências externas enfrentados por redes sem fio [3].

Porém no ambiente industrial, existem os requisitos mínimos de qualidade de serviço, segurança e determinismo. E a robustez do enlace de rádio frequência, os requerimentos de tempo e qualidade de serviço e bem como a segurança destas redes são frequentemente citadas como obstáculos para o uso desta tecnologia sem fio na indústria [4].

Com o objetivo de auxiliar os especialistas na detecção destes problemas, existem ferramentas de análise e monitoramento da performance da rede. Estas ferramentas fazem o registro de sinais elétricos, e captura das mensagens transmitidos entre os elementos da rede chamados de *sniffers*. Os *sniffers* auxiliam tanto no entendimento das características da rede, como também na análise de dados e até mapeamento da rede [3]. Segundo [5], os analisadores de redes IEEE802.15.4 comerciais disponíveis na maioria operam somente em um canal específico e existem poucas ferramentas multi-canal.

A proposta deste trabalho é uma definição de um instrumento de baixo custo para análise de rede de sensores sem fio IEEE802.15.4 em ambiente multicanal usando hardware comercial. Partindo desta consideração este trabalho estará considerando o protocolo WirelessHART como padrão com o objetivo de utilizá-lo para fins de análise de um ambiente industrial. Desta forma, este trabalho está dividido da seguinte forma: Na seção II é apresentado os conceitos básicos sobre redes sem fio usando o protocolo IEEE 802.15.4 e o padrão WirelessHART. Na seção III é mostrado pesquisas de analisadores sem fio. A arquitetura proposta do analisador de rede e as métodos usadas para



XII CEEL – ISSN 2178-8308  
13 a 17 de Outubro de 2014  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

validação é detalhado na seção IV. Na seção V mostra os resultados preliminares de análise de rede. Finalmente na seção VI tem-se as conclusões finais.

## II. REDES DE SENSORES SEM FIO

Um padrão que se destaca atualmente em diferentes aplicações de redes de sensores sem fio é o de redes de baixo consumo e baixa latência usando o padrão IEEE802.15.4.

O padrão IEEE802.15.4 [7] define a camada física de baixa potência (PHY), e também define a camada de controle de acesso ao meio (MAC). Baseados neste padrão protocolos de áreas específicas como WirelessHART, ISA100 na área industrial, ZigBee como padrão de aplicações abertas (genéricas), Open WSN de aplicações em máquina para máquina (M2M e V2V) [6].

Para o caso específico do padrão WirelessHART ele utiliza uma arquitetura baseada em apenas 5 camadas do modelo OSI. A tabela I descreve uma visão geral da arquitetura [2].

Tabela I – Arquitetura do Protocolo WirelessHART

Camadas Modelo OSI	Funcionalidade padrão WirelessHART
Aplicação	Orientada a Comando (HART). Fragmentação e remontagem de comandos.
Transporte	Transações com ou sem reconhecimento
Rede	Topologia mesh, auto-reparo, roteamento em grafo e origem
Enlace (MAC)	Baseado no IEEE802.15.4e - Segurança, Sincronização TDMA, Salto Em Frequência,
Física (PHY)	Baseado no IEEE802.15.4 - 2.4 GHz, 0 a 10dBm Tx, 25 a 600m alcance, Acesso ao Meio

Nas seções seguintes serão descritos as principais características de cada camada do padrão WirelessHART.

### A. Camada física IEEE802.15.4

A camada física (PHY) define o acesso ao meio que é realizado através do rádio. Esta camada é responsável pela seleção de frequências, geração da frequência portadora, detecção de sinal, modulação e codificação para transmissão e recepção de dados da rede [2].

Redes de sensores sem fio baseadas em RF enfrenta problemas na susceptibilidade aos fenômenos de propagação de ondas eletromagnéticas que interferem nos enlaces produzindo reflexões, difrações, desvanecimentos, bloqueios e interferências [4].

O melhor caminho para trafegar o sinal em redes sem fio é uma linha reta entre o emissor e o receptor sem obstáculos entre os dois, ou seja, em visada direta. A área entre o emissor e o receptor é dividida em zonas chamadas de zonas de Fresnel [2].

Outro problema físico das redes sem fio é a coexistência entre as redes. Existem vários protocolos que utilizam a mesma faixa de frequência. Por exemplo, em um ambiente industrial a rede dos dispositivos de campo WirelessHART utiliza a faixa de frequências de 2.4 GHz que devem coexistir com outros dispositivos que também trabalham nesta faixa de frequência como Bluetooth, Wi-fi, entre outros [2].

Ainda na camada física, o padrão IEEE 802.15.4 admite a operação nas faixas de frequência usando a banda livre de rádio ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), as quais estão isentas de licenciamento. Globalmente, corresponde à banda de 2.4GHz e ainda às bandas de 915MHz (América) e 868 MHz (Europa). O padrão WirelessHART adotou a banda de 2.4 GHz como padrão.

Dentro da faixa de 2.4 GHz a frequência varia de 2.4 a 2.485 GHz onde é definido 16 canais de frequência com distância de 5 MHz entre cada canal e com 2 MHz de largura para cada canal. O rádio pode arbitrariamente enviar e receber em qualquer um destes canais. O alcance de transmissão depende da potência do rádio que varia entre 3 a 20 dBm e da antena que pode ser interna ou externa podendo chegar em um alcance de até 1600m [2].

Quanto ao modo de transmissão protocolo WirelessHART utiliza o modo de Sequência Direta de Espalhamento do Espectro (DSSS). Para modulação é usado o método *Offset-Quadratura Phase-shift Keying* (O-QPSK) [2] e o o tamanho máximo da mensagem suportado pelo protocolo é de 128 bytes.

### B. Camada MAC IEEE802.15.4

IEEE802.15.4 também define um protocolo MAC, que é a camada que interage diretamente com o rádio. A camada MAC faz parte da camada de enlace do modelo OSI e é fundamental para o bom funcionamento de qualquer sistema de comunicação. O papel principal da camada MAC é coordenar o acesso e a transmissão através de um meio comum para vários nós.

Existem várias extensões do padrão IEEE802.15.4, entre eles se destacam o IEEE802.15.4e [8] que propõe funcionalidades da camada MAC para suportar o ambiente industrial.

Quanto a formação da rede o padrão WirelessHART suporta as topologias estrela, e malha (mesh). Para definição da topologia a especificação define dois tipos básicos de dispositivos chamados RFD (reduced function device) e FFD (full function device) [8].

Os dispositivos FFD são os roteadores que possuem funcionalidades entre elas segurança, coordenação de encaminhamento das mensagens entre os nós da rede, manutenção de sincronismo entre os nós, entre outros.

Dispositivos RFD são nós sensores que funcionalidades limitadas. São dispositivos normalmente simples, que precisam dos FFDs para comunicar. Estão impossibilitadas a fazer roteamento por isso são utilizados nos extremos das redes.

Quanto a transmissão e acesso aos nós, as redes podem operar de forma sincronizada (chamado também de modo *beacon*) ou não sincronizada (ou modo não *beacon*) [8]. No modo não sincronizado as redes não são determinísticas o que não é indicado para o ambiente industrial. No modo sincronizado, os coordenadores da rede transmitem frames de sincronismo (chamadas de mensagens “beacon”) para os equipamentos associados e toda a comunicação ocorrem dentro deste período entre as mensagens beacons formando um ciclo de trabalho ou macrocycle. O beacon também garante o sincronismo da rede. O padrão WirelessHART utiliza este mecanismo sincronizado para comunicação entre os devices [6].

No contexto dos métodos sincronizados, uma das formas de sincronização prevista na especificação e chamada TDMA (Time Division Multiple Access). O TDMA é baseado em uma divisão do tempo em slots e salto em frequência de até 16 canais para cada slot tempo formando uma estrutura chamada de superframe.

O superframe é formado por um matriz de slots e canais que se repetem no tempo conforme mostrado na figura 1a. Na vertical da matriz são os canais e na horizontal os slots de tempos. Cada célula da matriz pode ser alocada para a comunicação entre dois nós da rede como é mostrado nas células pintadas que indicam que a célula foi alocada para a comunicação entre um determinado link de comunicação. E a cada período de scan é enviado o *beacon* pelo coordenador da rede FFD para indicar o início do superframe e para efeitos de sincronismo da rede.

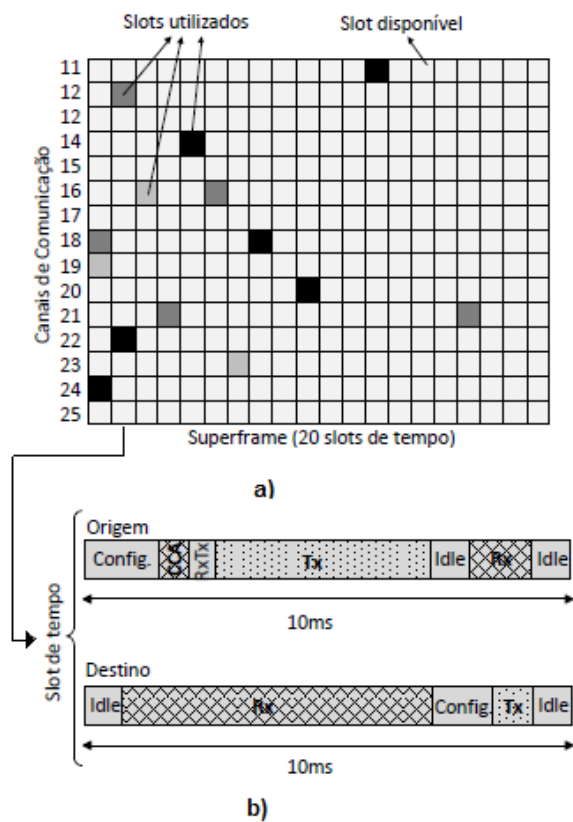


Fig. 1. Estrutura de um superframe: a) exemplo de uma matriz de 20 slots e 16 canais; b) detalhamento de um slot [9].

Dentro do slot de tempo ocorre a comunicação entre dois nós da rede ou um link. O tempo de cada slot é da ordem de 10ms, é o tempo necessário para um equipamento transmitir um pacote e receber um reconhecimento (ack) do receptor. Os tempos dentro do slot depende da função do nó (emissor ou receptor) conforme mostrado na figura 1b.

Cada nó da rede segue um escalonamento que informa o que fazer em cada slot. Em um dado slot o mote pode transmitir, receber, ou dormir. Para este último caso, chamado de modo inativo, o mote não precisa ligar o seu rádio. Para os outros casos, chamado de modo ativo, o escalonamento indica com qual vizinho ele deve transmitir ou receber e em qual canal.

De acordo com o uso de um slot, ele por ser dedicado (somente um link é suportado) ou compartilhado (mais de

um link pode ser realizado). A especificação WirelessHART garante um determinismo da rede alocando somente um link por slot. Porém, por questões de otimizações, nos procedimentos de entrada na rede e nas retransmissões, permite-se um compartilhamento de slot. No caso dele ser compartilhado deve ser usado mecanismos de acesso ao meio que trate colisão de mensagens através do mecanismo de acesso ao meio usando CSMA/CA [9].

O escalonamento indica como é feito o sincronismo dos pacotes dentro da camada MAC. O padrão IEEE802.15.4e define como a camada MAC executa um escalonamento (schedule) de forma centralizada ou distribuída. O WirelessHART utiliza somente a forma centralizada, ou seja, admite apenas um gerenciador de rede [9].

Segundo [2], o mecanismo de salto em frequência do padrão WirelessHART implica em diversificar as frequências de forma a mitigar os efeitos de interferência e reflexões. O padrão também prevê uma lista negra que indica os canais que não estão comunicando no momento e são evitados para prover maior confiabilidade.

Para suportar salto em frequência cada equipamento mantém uma tabela de canais ativos. Devido a lista negra o número de canais pode ser menor que 16. Para um dado slot e canal offset, o canal atual é determinado pela fórmula (1):

$$ChanAct = (ChanOff + ASN) \% NumChan \quad (1)$$

Onde:

*ChanAct* - é canal atual

*ChanOff* - é canal do ultimo superframe

*ASN* - é um contador de slottime e incrementado constantemente.

*NumChan* - representa numero de canais disponíveis.

Como o ASN é incrementado constantemente, o mesmo ChanOff pode ser mapeado para diferentes canais físicos em diferentes slots. E a cada ciclo (superframe), os canais são alterados (saltados) e esta mudança traz uma maior confiabilidade para a rede [6].

### C. Camadas de Roteamento e Transporte WirelessHART

As camadas de rede e transporte do padrão WirelessHART tem a função de prover segurança e confiabilidade de entrega na comunicação fim-a-fim.

A camada de rede WirelessHART suporta roteamento através de Grafo e é baseado no endereçamento entre Origem e destino [2].

Um grafo é um conjunto de caminhos que conectam os nós da rede. Os caminhos em cada grafo é explicitamente criado pelo coordenador e baixado para cada mote de rede. Para enviar um pacote, o dispositivo de origem envia uma mensagem com o grafo ID (determinada pelo destino), no cabeçalho da mensagem. Todos os dispositivos de rede no caminho para o destino deve ser pré-configurado com informações gráfico que especifica os vizinhos para que os pacotes podem ser encaminhados.

Roteamento baseado no endereço de origem e destino é um outro método de encaminhamento através de grafo com o objetivo de diagnóstico de rede. Para enviar um pacote para o seu destino, o dispositivo de fonte inclui no cabeçalho de uma lista ordenada dos dispositivos através da qual o pacote

tem de viajar. Como o pacote é encaminhado, cada dispositivo de roteamento utiliza o seguinte endereço de dispositivo de rede na lista para determinar o próximo salto até que o dispositivo de destino seja alcançado.

Com relação a segurança da rede, na camada de transporte existe um byte de controle de segurança é constituído por uma enumeração de 4 bits que indica a estratégia de segurança empregues para aquele equipamento.

Também na camada de transporte é feita a notificação da entrega final do pacote. O protocolo suporta tanto transações com reconhecimento (*Ack*) ou sem reconhecimento (*Unack*) de pacotes.

#### D. Application Layer WirelessHART

A camada de aplicação define os comandos do dispositivo, acesso aos parâmetros, tipos de dados e relatórios de status. No padrão WirelessHART, o acesso aos parâmetros dos dispositivos é baseado em requisições e respostas. A camada de aplicação é responsável pela análise, tratamento e envio de respostas para os comandos do usuário.

### III. ANALISADORES DE REDES

O sensoriamento de processos utilizando uma Rede de Sensores Sem Fio é algo que tem sido utilizado no setor industrial, residencial e até mesmo nas áreas medicas, como na monitoração dos movimentos dos pacientes nos estudos de ritmos cardíacos anormais [12], fazendo se assim necessário à construção de um equipamento wireless que consegue capturar esses pacotes oferecendo assim um diagnostico da rede, monitorando a rede e dificultando a entrada de intrusos, facilitando assim os trabalhos de gerenciamento e segurança. Nesse cenário se encaixa o analisador de rede, que é um equipamento composto por hardware, software ou ambos e que provê o serviço de analisar a rede, eles são equipamentos passivos, ou seja, somente coletam dados.

As interfaces de redes em sua operação normal são configuradas para receber apenas os pacotes destinados a elas, isso ocorre através da análise do endereço físico MAC, fazendo com que as mensagens cheguem apenas para o nó de interesse, ou seja, a interface de rede consegue escutar toda a linha, porém elas só fazem o uso dos seus pacotes [13]. Já o Sniffer em seu funcionamento normal captura todos os pacotes que entram na rede e os retransmite para uma máquina com um software dedicado a mostrar em uma interface os pacotes capturados, possibilitando que o administrador encontre possíveis falhas na rede.

Os pacotes capturados trazem detalhes sobre o endereçamento de origem e destino da mensagem, os protocolos utilizados nas diversas camadas da rede para a transmissão, recepção de pacotes, tipo de aplicações utilizadas, e os conteúdos das mensagens que são transmitidas. Existem vários softwares que recebem esses dados que foram capturados e mostram em uma interface as informações da mensagem, dentre eles se destaca o Wireshark [11].

Segundo [5], os analisadores de redes IEEE802.15.4 disponíveis comercialmente operam somente em um canal específico como é o caso do produto 1322x-USB Dongle

ZigBee Packet Sniffer da empresa FreeScale [Referencia]. Porém as redes operando a 2.4GHz como podem operar em vários canais, como no caso da rede IEEE802.15.4, na qual podem ser construídos Sniffers com 16 canais para escuta e diagnostico da rede. Mais precisamente no protocolo wireless Hart eles podem operar em até 16 canais, na banda de frequência de até 2,4 GHz com uma taxa de transmissão de 250 kbps [13]. Neste caso, existem poucas ferramentas multi-canal como é o caso da ferramenta da fundação HART Foundation, e acadêmicos como do próprio autor [5].

O uso do Sniffer no ambiente industrial possibilita diversas análises que pode ser realizada por um especialista, como análise do roteamento, diagnósticos de consumo de bateria, monitoramento da performance da rede. E isto torna este equipamento uma ferramenta poderosa no estudo de redes e principalmente redes sem fio.

### IV. SISTEMA PROPOSTO

Esta seção mostra detalhes da arquitetura do sistema proposto e as metodologias de validação. Como o projeto está em uma primeira fase de desenvolvimento, optou-se por usar dispositivos comerciais já existentes para validar a arquitetura. Em uma segunda fase do projeto pretende-se expandir o sistema.

A arquitetura do sistema é constituída de 3 módulos principais conforme figura 2. O modulo *sniffer* seria responsável pelo acesso à rede IEEE802.15.4. O modulo multiplexador seria responsável pela aquisição dos dados dos n canais dos sniffers. Por fim, a estação de análise seria responsável por obter os dados do modulo multiplexador e trata-lo para visualização do usuário.

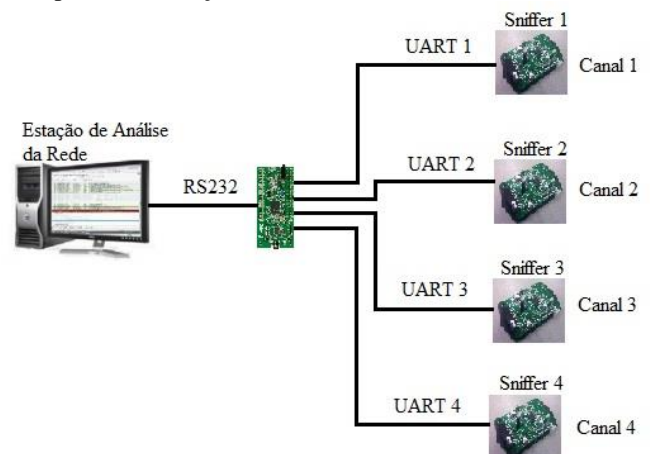


Fig. 2. Arquitetura do Analisador de rede de 4 canais.

Cada um destes módulos serão detalhados em seguida.

#### A. Modulo sniffer

O equipamento proposto para a escuta de linha possui quatro canais para a escuta e foi feito utilizando hardware comercial, operando na faixa de 2,4 GHz com uma taxa de transmissão de 250 kbps para atender os requisitos do padrão IEEE 802.15.4. Foram usados quatro placas desenvolvidas pelo instituto Eldorado usando processador MC13213 da Freescale e com antena F embutida na placa. Na figura 2 estas placas são os sniffers de 1 a 4.

Cada sniffer é responsável escutar um canal específico. Os sniffers são conectados ao módulo multiplexador via porta serial UART.

Os quatro canais ficam recebendo os frames que trafegam na rede e os enviam para a módulo multiplexador.

O tratamento dos dados ocorre em ciclos de tempos fixos, ou seja, no primeiro ciclo a placa principal trata os dados que chegam à primeira interface UART e assim por diante até receber os frames da última interface UART, após esse ciclo a placa ARM monta um “superframe” e o repassa via RS232 para o computador.

O tempo de leitura dos dados da rede deve ser da ordem de 10ms que seria o tempo correspondente de cada slot do WirelessHART.

Para atender os requisitos de scan de dados utiliza-se um mecanismo de multi-tarefa constituído de duas tarefas principais: Rede e Aplicação. A camada de rede é responsável por fazer a captura dos frames IEEE802.15.4, obter uma estampa de tempo (timestamp) da captura e incluí-la em uma fila do rádio. Enquanto a camada de aplicação é responsável pelo envio de mensagens para o módulo multiplexador.

A comunicação entre o módulo sniffer e o módulo multiplexador é da forma mestre escravo onde o módulo multiplexador é o mestre. Desta forma, a tarefa de aplicação do módulo sniffer fica o tempo todo esperando uma requisição do mestre para enviar os frames já capturados.

O sincronismo do relógio para prover a estampa de tempo é feito periodicamente pelo Módulo Multiplexador.

### B. Módulo multiplexador

A módulo multiplexador é responsável por capturar as mensagens e passá-las para um computador.

A placa utilizada no módulo multiplexador é a STM32F4Discovery da empresa ST, que possui um processador CORTEX-M4 de 168 MHz. Optou-se por esta placa pois ela possui até 6 portas UART e também um alto poder de processamento além de já possuir um RTC (*Real Time Clock*) para prover a estampa de tempo.

Para atender os requisitos de scan de todos os módulos sniffers utiliza-se um mecanismo de multi-tarefa constituído de duas tarefas principais: Rede e Aplicação.

A camada de rede é responsável por fazer a leitura dos frames de cada canal e colocar na file de rede. A camada de aplicação é responsável por montar o superframe de cada canal, o envio de mensagens para a estação de análise. Também é responsável por coordenar o sincronismo de tempo para todos os canais.

A comunicação entre módulo multiplexador e estação de análise é feita de forma streaming sem necessidade de ack.

### C. Estação de Análise

A estação de análise é responsável por obter os dados do módulo multiplexador e tratá-lo para visualização do usuário. A estação reside em um PC conforme mostrado na figura 2.

Os dados chegam para a estação de análise via RS232 e precisam ser tratados antes que eles sejam jogados para a interface Wireshark, pelo fato de que o software não consegue processá-los em tempo real. Isso é feito através de um mecanismo chamado Pipe. O Pipe é responsável por ler os dados através de um arquivo utilizando a ferramenta

WinPcap. O Winpcap é uma software utilizado para acessar a camada de enlace do sistema operacional Windows, permitindo capturar e transmitir os pacotes de rede ignorando a pilha de protocolos [10], com isso os dados capturados pelo WinPcap são gravados em um arquivo depois eles são convertidos para o padrão do Wireshark e logo em seguida eles são mostrados na tela.

O Software Wireshark é um software muito utilizado pela academia e também comercialmente como padrão de analisador de rede principalmente em redes ethernet. Devido ao fato de ser aberto e customizável, ele dispõe de interpretador dos principais protocolos de comunicação no mercado inclusive IEEE802.15.4 [11]. Portanto ele foi escolhido como software de análise neste trabalho.

## V. RESULTADOS

Nesta seção são mostrados os testes preliminares usados com o sistema, onde o trabalho está ainda na fase inicial de desenvolvimento.

Os testes iniciais consistiram em utilizar um analisador comercial “1322x-USB Dongle ZigBee Packet Sniffer” de um canal único da empresa FreeScale e o respectivo software de captura “TestTool” da própria Freescale. O objetivo destes testes iniciais foram de levantamento de desempenho dos rádios em ambiente aberto e também determinar o máximo alcance do rádio utilizando uma antena F interna na placa. Estes testes também serviram para um melhor entendimento do sistema e possíveis problemas que poderão ser encontrados. A figura 3 mostra um esquemático do teste realizado.

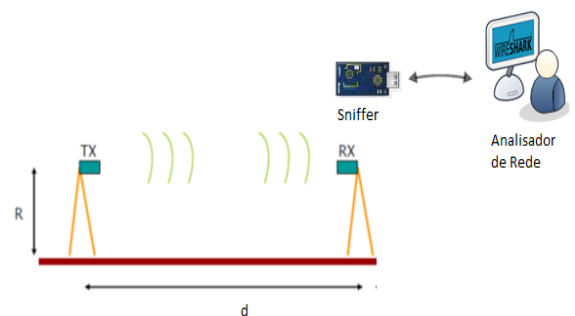


Fig. 3. Esquemático do teste realizado.

No teste mostrado na figura 3 foi utilizado dois nós no padrão IEEE802.15.4 comunicando entre si em um canal específico e a uma altura mínima (R) do solo. Para determinar um gráfico do alcance do rádio foi variado a distância (d) entre os nós variando de 0 a 60 metros. O sniffer foi ligado na USB do computador e os dados eram coletados diretamente no software analisador de rede TestTool.

Os nós usaram as mesmas placas da eldorado com uma antena interna F (on chip) e potência máxima do rádio (3 DBm) na frequência de 2.4GHZ. O emissor (TX) foi ligado na bateria consistindo de 4 baterias AA recarregáveis de 600 mA.H.

Foi feito teste no campos na Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em um local aberto com visada direta com

distância máxima de 60 metros. Foram coletados os dados a 10 metros de 0 a 60 metros conforme mostrado na figura 4.

Para determinar a distância mínima do solo para uma melhor performance do rádio obteve-se a distância de Fresnel. A elipse de Fresnel pode ser calculada segundo a fórmula (2) abaixo:

$$r = \frac{\sqrt{\lambda d}}{2} \quad (2)$$

Onde:

- $\lambda$  - é o comprimento da onda.
- $d$  - é a distância entre Tx e RX.
- $r$  - é o raio da elipse de Fresnel.

Para uma distância de 60 metros em área aberta temos para 2.4GHz e  $d = 60$  metros obtém-se um raio de 1,4 metros. Nos testes a placa foi colocada em um pedestal e colocada a uma altura de 1.70m do solo e com visada direta entre as placas conforme figura 3. O sniffer ficou colocado próximo ao receptor porém em uma distância menor da ordem de 1.0 metro do solo.

Os testes consistiram de enviar 1000 pacotes de um mesmo frame de 25 bytes (frame beacon) a cada 100ms usando sempre o canal 20. Foram realizados dois testes em dias em ambiente externo (Outdoor) sem obstáculo.

Os testes foram feitos a cada 10 metros e sempre feito 3 coletas de dados tanto do *sniffer* quanto do receptor. Ao final foi feita a média e o desvio padrão destes dados coletados para cada distância. O resultado é mostrado na figura 4.

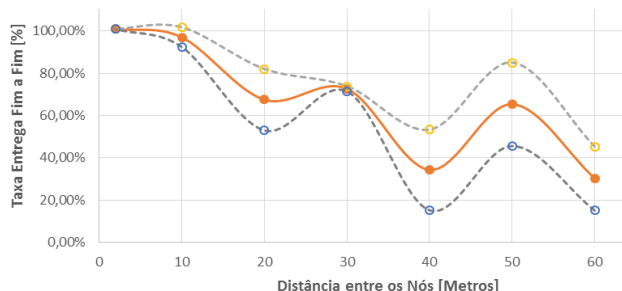


Fig. 4. Gráfico de alcance das placas IEEE802.15.4

A análise do gráfico da figura 4 mostra que apesar do desvio padrão ter apresentado uma dispersão grande principalmente com as distancias maiores de 60 metros, a distancia entre as placas usando antena F em ambiente aberto pode chegar até a uns 70 metros porem a partir de 30 metros começa apresentar uma grande perda de pacotes de mais de 50%.

## VI. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs um sistema de baixo custo modular para análise de rede de sensores sem fio IEEE802.15.4 em ambiente multicanal usando hardware comercial. O trabalho ainda está em andamento, porém já foi feito toda o estudo dos requisitos do projeto proposto e já se iniciou os primeiros testes de comunicação de rede sem fio o que temos grande chances de obter sucesso na execução deste trabalho e

expandi-lo futuramente para os 16 canais do protocolo, que seria o ideal nesta ferramenta de análise.

## REFERÊNCIAS

- [1] J.S. Lee, Y.W. Su, C.C. Shen. (2007) - "A comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, Zigbee and Wi-fi" Proceed in: Conference of the IEEE Industrial Electronics Societyh (IECON), Nov,5-8,2007, Taipei, Taiwan.
- [2] CHEN, D.; NIXON, M.; MOK, A. (2010). - WirelessHART - Real-Time Mesh Network for Industrial Automation. Springer, ISBN 978-1-4419-6046-7.
- [3] STEMMER, M.R. (2001) - Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores para Controle e Automação industrial. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.
- [4] MULLER, I. (2012) - Gerenciamento descentralizado de redes sem fio industriais segundo o padrão WirelessHART. 105p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.
- [5] Ferrari, P; Flammini, A., Marioli, D.; Rinaldi, S.; Sisinni, E. (2010) - On the Implementation and Performance Assessment of a WirelessHART Distributed Packet Analyzer. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 59, No. 5, May 2010.
- [6] Palattella, M.R., Vilajosana, X., Watteyne, T., Grieco, L.A., Boggia, G., Dohler, M. (2013) - Standardized Protocol Stack for the Internet of (Important) Things. IEEE Communications Surveys & Tutorial, Vol.15, No. 3, Third Quarter 2013.
- [7] IEEE std. 802.15.4-2011 - Part. 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), Standard for Information Technology Std., 16 june 2011.
- [8] IEEE std. 802.15.4e-2012 - Part. 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) - Amendment 1: MAC sublayer, 16 abril 2012.
- [9] Silva, I.M.D. (2013). Uma Metodologia para Modelagem e Avaliação da dependabilidade de Redes Industriais Sem Fio. 175p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, janeiro, 2013.
- [10] Software Winpcap. Disponível online em: <http://www.winpcap.org/>
- [11] Software Wireshark. Disponível online em: <http://www.wireshark.org/>
- [12] Zorkot, A. C; Ruiz, L. B; Assunção, H. P.- Uma Ferramenta Para Detecção de Movimentos Utilizado Redes de Sensores Sem Fio. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Winter, J. M. - Software De Análise de Roteamento de Dispositivos WirelessHart. 2010. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.