

Implementação de Gerência de RSSF com Protocolo SNMP para IoT

John F. L. Madeira e Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

Faculdade de Engenharia Elétrica

Pontifícia Univ. Católica de Campinas (PUCCamp), São Paulo, Brasil

e-mail: jfl.madeira at puc-campinas.edu.br; branquinho at puc-campinas.edu.br

Resumo – Este artigo apresenta uma proposta para implementação de um Proxy Gateway Manager, desenvolvido em plataforma aberta, para gerência de Redes Sensores Sem Fio (RSSFs) integrado às redes TCP/IP. O ambiente proposto é gerenciado por uma Estação de Gerência de Rede com SNMP. Para validação, foi montado um sistema para monitorar a RSSI de uma rede de sensores em cadeira. Nessa implementação, foi utilizada uma RSSF operando em 915 MHz com um Sistema Rádio sobre Fibra (RoF) que emula uma rede metropolitanas (MAN). Os resultados mostraram a viabilidade deste tipo de abordagem que permite escalabilidade e facilidade de operação.

Palavras-Chave – Rede Sensores Sem Fio, Gerência, SNMP.

Abstract - This paper presents a proposal of a Proxy Gateway Manager developed in open platform for management of Wireless Sensor Networks (WSNs) integrated with TCP/IP networks. The proposed environment is managed by a Network Management Station (NMS) with SNMP. A system was installed in Lab to collect RSSI from sensor nodes to validation. That implementation, uses a WSN at 915 MHz with a radio over Fiber (RoF) system to emulates a Metropolitan Area Network (MAN). The results shown the feasibility of this approach that allows scalability and ease of operation.

Keywords – Wireless Sensor Networks, Network management, SNMP.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de ‘cidade conectada’ está cada vez mais presente em nosso dia-a-dia. Este conceito é também conhecido por *Internet of Things* (IoT) e é apresentado por [1] como a próxima evolução da Internet a qual mudará a forma que os seres humanos interagem com o meio ambiente. Ainda conforme [1], em 2010 já havia mais dispositivos conectados (12,5 bilhões) do que pessoas no mundo (6,8 bilhões). Em 2020 é estimado 50 bilhões de dispositivos conectados contra uma população aproximada de 7,6 bilhões de pessoas.

Neste cenário, a comunicação entre os dispositivos (M2M) se tornará ainda mais comum, fazendo o monitoramento e controle de processos irem além da telemetria, telecomando e telesupervisão. Um dos problemas para a implementação da IoT é a interconexão da RSSF com a Internet [2].

As RSSFs devem ser vistas como redes com características próprias [3], porém, integráveis através do uso de componentes que possam fazer a ‘tradução’ entre as RSSFs e as redes TCP/IP, permitindo a IoT [2]. Um componente chave para essa função é proposto aqui: SNMP Proxy Gateway (SPG).

Assim, foi desenvolvido um sistema embarcado de baixo custo baseado em plataforma Linux utilizando-se scripts em

linguagem de programação Lua [4]. A função do SPG é fazer a interpretação dos valores monitorados nos nós sensores para *Object Identifier* (OID) que possam ser lidos ou alterados através do protocolo SNMP. A solução demonstrou-se viável permitindo que, mesmo profissionais fora da área de computação, através da RSSF, integrar controle e monitoração de processos com a Internet no conceito da IoT.

O restante deste trabalho está dividido da seguinte forma: Na Seção II, é feito uma revisão dos trabalhos relacionados. Na Seção III é apresentado o sistema, destacando seus principais componentes. Na Seção IV, é apresentado o experimento para validação do sistema proposto. E, por fim, a Seção V apresenta as conclusões.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Há na literatura vários trabalhos que exploram o uso do SNMP seguindo os pilares clássicos da gerência definido pela *Open Systems Interconnection* (OSI): Gerência de Falhas, Contabilidade, Configuração, Desempenho e Segurança [5].

Em [6], por exemplo, é proposto um protocolo baseado no *Protocol Data Unit* (PDU) para redes sensores móveis. A proposta apresenta uma distribuição hierárquica de rede com formação de *clusters*, o qual realiza associações em grupos de nós com objetivo de reduzir a troca de mensagens entre gerente (*clusters head*) e agentes (nós). Uma variação dessa implementação também pode ser vista em [7] para redes sensores em MANs com uso da tecnologia rádio sobre fibra (RoF). Este tipo de implementação tem reflexo na Gerência e Desempenho, pois, minimiza o tráfego de mensagens entre os dispositivos gerenciados. Também reflete nas áreas como a Gerência de Falhas porque diminui a perda de pacotes, consequentemente, aumenta a vida útil da bateria dos nós. Outro reflexo é na Gerência de Configuração, porque possibilita melhor precisão na coleta de informação para a gerência, promovendo o acesso à dados dos objetos gerenciáveis.

Há ainda outras propostas, como em [8] e [9]. Nestes casos, o objetivo é melhorar a eficiência da RSSF adotando-se o uso da pilha TCP/IP nos dispositivos gerenciáveis para acesso aos OIDs. No entanto, esses modelos exigem uma implementação de *hardware* e *software* mais complexa pela instalação da pilha TCP/IP nos nós, o que não é desejável, devido às limitações de memória e processamento desses elementos.

Mais recentemente [10] propõe um sistema de gerência chamado *WSN Management System*. Neste caso, a proposta é fazer a gestão centralizada dos componentes gerenciáveis através dos relacionamentos dos objetos focando em três áreas: Gerência de Configuração, Desempenho e Falha.

Como alternativa, há propostas sobre o uso do protocolo IPv6 com adaptações para implementação nas RSSFs [11]. Essa abordagem usa o 6LoWPAN (*IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network*) definido pela RFC 4919 para atender o padrão de redes sensores ZigBee (IEEE 802.15.4) da RFC 4944. No entanto, o uso do 6LoWPAN ainda traz algumas questões relacionadas ao desempenho como excesso de fragmentação a introdução de um novo *layer* para adaptar o datagrama IPv6 de 1.280 Bytes para 127 Bytes do padrão 802.15.4 o que, naturalmente, é traduzido em um custo computacional para os nós, implicando em maior consumo de energia. Outra questão é a real necessidade de se manter a adoção do *Internet Protocol* (IP) para roteamento na camada de rede o que nem sempre é empregado numa PAN.

Em [12], é proposto uma nova abordagem chamada *b6LoWPAN* que é baseado numa implementação conhecida como *Berkeley IP Implementation* (Blip) [13] para gerência de RSSFs com SNMP. Essa implementação introduz várias técnicas como compressão de cabeçalho, roteamento ponto-a-ponto e descobrimento de rota por vizinhança. No entanto, as questões ainda persistem como aumento de processamento e consumo de memória devida fragmentação e remontagem dos datagramas.

A proposta apresentada aqui mantém as principais características das duas redes: a rede TCP/IP e a RSSF, sendo que nesta é utilizado um pacote de 64 bytes que provê tráfego reduzido na RSSF e facilmente manipulado pelo SPG.

III. SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto é dividido em *Network Management Station* (NMS), *SNMP Proxy Gateway* (SPG) e a RSSF. A Figura 1 apresenta uma visão geral desses três componentes.

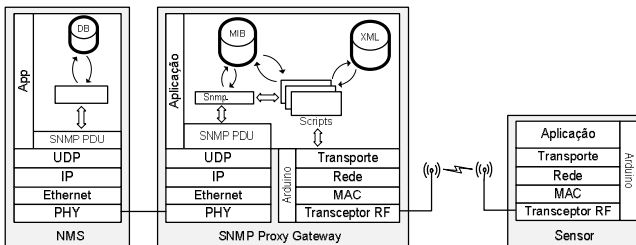


Figura 1: Visão geral dos principais componentes do sistema

A comunicação entre o NMS e o SPG é feita através da rede TCP/IP tradicional e o padrão Ethernet é utilizado como protocolo de acesso ao meio. O protocolo UDP é usado para transporte dos PDUs do SNMP. A comunicação entre o SPG e a RSSF utiliza protocolos na camada de transporte e rede desenvolvidos na PUC Campinas na plataforma Radiuino [14].

Há ainda outros dois componentes. Um compreende a proposta de protocolo de comunicação para operação da RSSF que funciona com um conjunto de *scripts* de tratamentos dos dados. Outro componente importante é a estratégia para gerência da rede que se concentra na organização dos dados e no formato da apresentação da informação para o usuário.

Nas próximas seções serão discutidos esses conjuntos de componentes que formam o sistema.

A. Network Management Station (NMS)

A NMS é baseada em plataforma aberta seguindo o conceito de gerência para controle, supervisão e aquisição de dados, SCADA (ScadaBR) [15], a qual é associada ao uso de uma *Graphical User Interface* (GUI). O objetivo da GUI é oferecer uma *interface* interativa, amigável ao usuário, onde seja possível ter acesso, do ponto de vista da gerência, aos os componentes da RSSF. A adoção de uma *interface* gráfica é uma importante ferramenta na ajuda da classificação e categorização do tipo de dado que pode ser provido pela RSSF.

Uma abordagem de gerência hierárquica da RSSF é adotada para fazer a categorização da informação. Essa categorização é dividida da seguinte forma: De um lado, os dados da rede relacionados à definição de rotinas e tratamento de falhas, análise dos atributos de desempenho e disponibilidade dos itens de configuração da RSSF. De outro lado, os dados de usuário destinados ao tratamento por regras de contabilidade e segurança. A Figura 2 apresenta uma proposta de modelo para divisão da gerência no sistema.

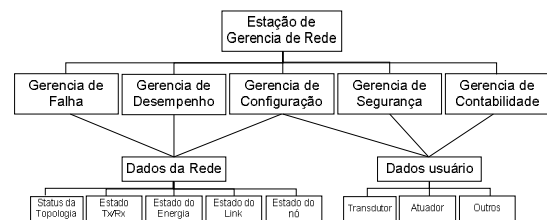


Figura 2: Relacionamento entre as áreas de gerência

Essa abordagem favorece a categorização do tipo hierárquica do ponto de vista de gerência, para que as áreas possam ser classificadas de acordo com a afinidade dos dados. Isso facilita a especialização por parte dos administradores de rede que estão interessados na gerência da rede e, por parte do usuário, que tem interesse nas informações de mais alto nível e no tratamento das interações com a IoT.

B. SNMP Proxy Gateway (SPG)

O protótipo do SPG foi desenvolvido sob uma plataforma de *hardware* de baixo custo, tipicamente menor que US\$ 30,00. Ela é facilmente disponível no mercado. A Figura 3 mostra o *hardware* utilizado no SPG indicando seus principais componentes.

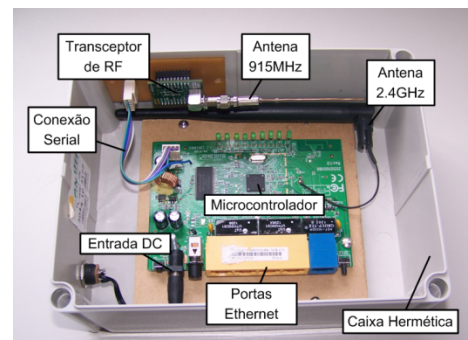


Figura 3: SPG com hardware TL-WR740N

Essa proposta utiliza a plataforma do projeto OpenWRT [16] que baseia-se no uso de *software* livre com sistema operacional Linux. Ela emprega uma estrutura de *hardware*

de fabricantes de Pontos de Acessos (APs) para redes WiFi como sistema base. Para implementação do OpenWRT foi utilizado a plataforma TL-WR740N da empresa TP-Link que usa microprocessadores Atheros da família AR9300. Nesse protótipo, foi utilizado as portas Ethernet para comunicação com a rede TCP/IP. A essa plataforma foi conectado um módulo de RF para comunicação com a RSSF.

Devido a sua pequena dimensão (cerca de 15x15cm) e baixo consumo de energia (próximo de 0,4A), um empacotamento mecânico pode ser empregado, utilizando-se uma caixa hermética para uso do SPG em ambientes externos como, por exemplo, fábricas, fazendas, minas, usinas, gasodutos, parques, shoppings, escolas, entre outros, junto a uma bateria ou fonte externa de 9VDC.

Na próxima seção, serão detalhadas as características do módulo de RF

C. Rede Sensores Sem Fio (RSSF)

Os nós da RSSF utilizam os mesmos módulos de rádio utilizado no SPG. Esse módulo usa transceptor CC1101 da Texas Instruments [17], operando na banda ISM em faixa de frequência de 915 MHz. Ele é integrado a um microcontrolador modelo AVR ATmega328. Esse *hardware* é compatível com a plataforma Rádiuino possibilitando flexibilidade quanto a sua configuração através de uma interface de desenvolvimento (IDE). Através da IDE, é possível efetuar a programação de diferentes níveis de intensidade de sinal de RF, ajustar tipos distintos de modulação além de roteamento e de configuração de protocolos para acesso ao meio (MAC).

A TABELA 1 apresenta as configurações do sistema de rádio utilizado no SPG e nos nós que formam a RSSF.

TABELA 1: Configurações dos nós sensores

Frequência portadora	915 MHz
Modulação	2FSK
Potência de Tx	+10 dBm
Sensibilidade Rx	-90 dBm
Antena, tipo	Omnidirecional
Ganho Antena	2 dBi
Taxa	250 kbps

A Figura 4 mostra um nó da RSSF destacando-se seus principais componentes.

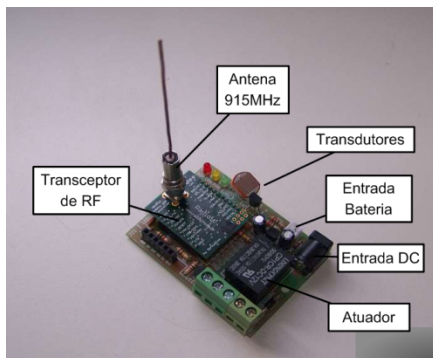


Figura 4: Nó Sensor

Além do transceptor e da antena, o nó é composto por: transdutores, relés, Leds, bateria, e conectores. Os transdutores tem a função de fazer a leitura dos dados de temperatura, luminosidade, tensão da bateria, tensão da fonte e potência de sinal de RF recebido. Cada grandeza

pode ser lida através dos códigos desenvolvidos no ambiente Rádiuino para que possa ser tratado e enviado pela RSSF ao SPG que, por sua vez efetua a associação com o respectivo OID para ser transmitido pela rede TCP/IP à NMS.

Para o processo de comunicação entre o SPG e a RSSF foram desenvolvidos *scripts* em linguagem de programação Lua. A razão da escolha por essa linguagem, está na sua portabilidade e facilidade de implementação. Ela é ideal para uso em ambientes embarcados porque é bastante leve. O interpretador do Lua ocupa apenas 182 kbytes enquanto suas bibliotecas ocupam outros 243 kbytes. Assim, é possível implantar o sistema num ambiente de recursos limitados e, neste caso, fazer a integração dos OIDs com diferentes tipos de PDUs do SNMP.

D. Protocolos de Comunicação

As informações de gerência entre o NMS e o SPG são transmitidas através do *Protocol Data Units* (PDU) do SNMP. O processo de coleta de informações da RSSF a partir do SPG, é realizado por um conjunto de *scripts* que, por sua vez, direcionam essas requisições de volta à NMS através do SNMP.

O SNMP é um protocolo de camada de aplicação, que compõe a família de protocolos TCP/IP. Ele é amplamente utilizado como ferramenta na gerência de redes e permite a troca de informações entre o dispositivo gerente e os agentes ou dispositivos gerenciados.

O princípio de funcionamento do SNMP é baseado em ler ou alterar variáveis do sistema. Isso simplifica o processo de gerência e o número de comandos para apenas dois: *Get* e *Set*. Esse mecanismo torna o processo de busca e alteração simples, flexível e robusto. A requisição de comunicação é sempre feita pelo Gerente, que é a entidade que solicita a informação, para o Agente, que envia a informação solicitada.

O *Get* é disparado pelo Gerente para ler uma informação no dispositivo gerenciado. O *Set* é utilizado para alterar informações do lado do Agente. Há uma única situação em que o Agente pode enviar uma informação ao Gerente mesmo que este não a tenha solicitado: *Trap*. Essa situação ocorre quando o Agente detecta, através mecanismos e processos pré-determinados, uma anomalia ou evento não previsto em seu comportamento.

O datagrama SNMP compreende campos de identificação da versão do SNMP, a comunidade e do PDU. No PDU, há um campo chamado *Variable Bindings* que contém uma lista com '*Name*' e '*Value*' das variáveis que são associados aos OIDs. Nem todos os PDUs necessitam que o campo *Value* seja preenchido como, por exemplo, o PDU do tipo *GetRequest-PDU* que usa somente o campo *Name* e, neste caso, o campo *Value* é ignorado ou preenchido com *NULL*.

A leitura/alteração é realizada pela transcrição do conteúdo do campo *Variable Bindings* pelos *scripts* Lua executados no SPG. Isso é feito através parâmetros de configuração no arquivo *snmp.conf* do serviço *NetSNMP* com a indicação do *script* responsável pela execução do comando se saída.

Para contemplar as características da RSSF, uma MIB proprietária (WSN-MIB) foi desenvolvida com base na MIB-II, a qual foi criado o *ODINumber* pai '1.3.6.1.2.1.99', onde '1.3.6.1.2.1' descreve o identificador de objeto para a MIB-II e '99' sugere a indicação para a WSN-MIB segundo definição da *Structure and Identification of Management*

Information (SMI). Desta forma, os OIDs são associados ao *OIDName* às variáveis de gerência dos nós da RSSF. Cada objeto segue uma estrutura contendo nome, sintaxe, controle de acesso, status e uma descrição. Assim, valores obtidos através dos transdutores do nó ‘n’ são convertidos no *OIDName* ‘sensornnn’ em que ‘nnn’ é o identificador do nó da RSSF associado é um *OIDNumber* conforme a estrutura de árvore definida pela MIB-II da RFC 1213.

Após o direcionamento do *snmp.conf*, o conteúdo dos campos *VariableBindings* são lidos ou alterados dependendo da característica da cada PDU (*Get*, *Set* ou *Trap*). Assim, o tratamento é feito pelo conjunto de *scripts* Lua baseados numa biblioteca chamada LuaSNMP [18].

O *script* também é responsável pela leitura/gravação do pacote a ser transmitido para a RSSF. Esse pacote é gerado através da leitura do estado (*'tags'*) do arquivo de dados XML que contém os campos a serem enviados para cada nó da RSSF. O processo de leitura e gravação do arquivo de dados XML é feito através de um *parser* XML também desenvolvido em Lua. A Figura 5 mostra algumas *'tags'* XML como exemplo.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<Pacote>
  <Byte name="RSSIDown">
    <Posicao>ID0</Posicao>
    <Valor>0</Valor>
  </Byte>
  (...)
  <Byte name="IO5_L">
    <Posicao>ID51</Posicao>
    <Valor>0</Valor>
  </Byte>
</Pacote>
```

Figura 5: Exemplo de tag XML utilizada

Neste caso, o valor da *tag* ‘RSSIDown’ (posição ID0) e ‘IO5’ (posição ID51) faz referência à intensidade de sinal descida e da porta digital número 6, respectivamente indicando o pacote de 52 posições.

Desta forma, o mecanismo do *parser* XML faz a varredura das *tags* do tipo ‘valor’ que contém informações para a montagem do pacote a ser transmitido para o respectivo nó. Este pacote é composto de 52 *bytes* de *payload* e 12 *bytes* de cabeçalho. A Figura 6 mostra o pacote de 64 *bytes* utilizado na RSSE.

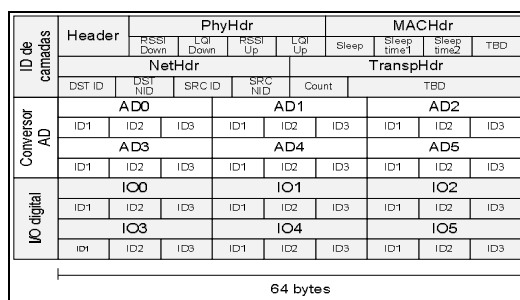


Figura 6: Mapa de bytes do pacote da RSSF

O *payload* de 52 *bytes* do pacote da RSSF é dividido da seguinte forma: os 16 primeiros *bytes* são destinados para identificação de rede contendo endereços de origem, destino para a comunicação entre o SPG e o nó. Há também informação de gerência da rede como, por exemplo, monitoramento da intensidade de sinal (*RSSIup* e *RSSIdown*) e *sleep time*. Estão previstos campos para uso futuro (TBD). Outros 18 *bytes* são destinados para os conversores analógico/digital (ADs) e mais 18 *bytes* para saídas digitais

(IOs). Esses campos são responsáveis pela leitura dos valores dos transdutores de temperatura, luminosidade e pelo acionamento de atuadores.

Uma vez que o pacote seja carregado pelo *parser* XML, ele é então rotulado com o endereço de destino do nó e enviado para o transceptor de RF. O trecho de código da Figura 7 mostra como isso é feito. O texto após os hifens duplos (“—”) são comentários.

```
(...)
local filename = "/scripts/pacote/pacote.xml" -- Leitura dos dados XML
xmlparser:parse(xmltext) -- Funcao de parser XML
serial=io.open("/dev/ttyATH0", "w+d") -- Abre a serial em modo de escrita
for k, p in pairs (xmlhandler.root.Pacote.Byte) do -- Faz a varredura das tags do pacote
    pct = pct .. string.char(tonumber(p.Valor))
end
serial:write(pct) -- Envia para o transceptor de RF
(...)
```

Figura 7: Processo de construção e transmissão do pacote da RSSF.

Uma vez enviado o transceptor de RF, ele adiciona o header de 12 bytes ao pacote que, assim, é transmitido para o nó de destino. Quando o pacote chega ao nó, há o desempacotamento da respectiva camada e, então, os campos são tratados localmente e, caso necessário, o nó tomará determinada ação de leitura ou acionamento de uma função específica conforme o dado lido do pacote. A partir daí, o processo inverso é realizado.

IV. EXPERIMENTO

O objetivo do experimento é validar funcionalmente a proposta implementada. Para isso, foi montando em laboratório um sistema RoF que emula uma MAN. A Figura 8 mostra a representação do ambiente utilizado.

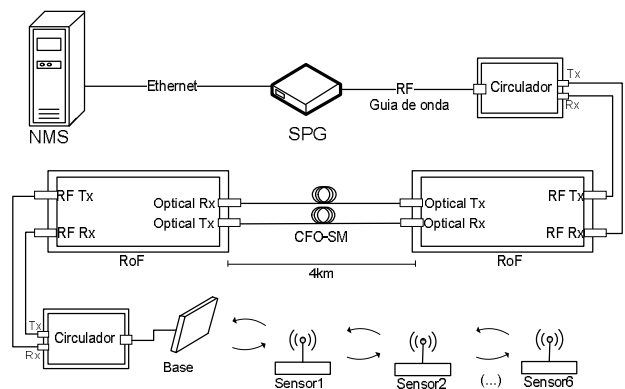


Figura 8: Representação do ambiente do utilizado no experimento

O uso do RoF é importante para que se possa criar um cenário que caracteriza as redes metropolitanas. Desta forma, o sistema RoF foi acoplado a bobinas de fibras ópticas monomodo com 4km de comprimento para emular uma MAN. O RoF foi, também, conectado ao SPG e a uma RSSF. Essa RSSF é formada por um conjunto de seis nós sensores distribuídos de maneira aleatória no ambiente.

A saída do sinal de RF do SPG é feita por um guia de onda até o circulador que é responsável pela decomposição do sinal de RF em sinal de transmissão (Tx) e sinal de recepção (Rx). O sinal decomposto é enviado ao sistema de RoF através da fibra Tx até do circulador oposto que, por sua vez, faz a composição do sinal de RF e transmite para a RSSF. O sinal então é processado pelos nós sensores e o processo inverso é realizado.

A comunicação entre os nós sensores é feita por um protocolo em cadeia o qual faz com que o sinal de RF percorra toda a RSSF. Neste caso, para validar o funcionamento do sistema, foram realizadas medidas de intensidade de sinal de RF ou RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) entre os seis nós sensores que compõe a RSSF. No ambiente não havia nenhuma obstrução entre os nós e a transmissão é feita em espaço livre. A Figura 9 mostra o gráfico de RSSI coletado pela NMS dos nós sensores participantes do experimento.

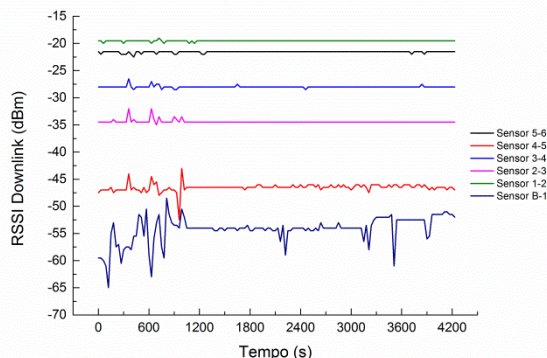


Figura 9: Intensidade de sinal de RF dos nós da RSSF

As medidas foram realizadas coletando-se os valores de intensidade de sinal de RF recebidos pelos dispositivos da RSSF (*RSSI downlink*). Desta forma, há uma medida para cada nó como, por exemplo, o sinal enviado da base (antena painel) ao sensor1 (primeiro nó), sinal do sensor1 enviado para o sensor2 e assim por diante até o último nó (sensor6).

Pelo gráfico percebe-se uma variação de potência nos primeiros e nos últimos 1000s do experimento. Isso é percebido de forma mais evidente nas medidas de potência de sinal entre a base e o sensor1. A razão disso é que, durante a realização do experimento, houve trânsito de pessoas entre os pontos medidos o que causa a flutuação perceptível nas medições.

Outro aspecto é que há diferentes níveis de intensidades de potência de sinal para os nós da RSSF. Isso mostra que os nós sensores se encontram em distâncias distintas entre eles.

Desta forma, o mesmo procedimento para medição da RSSI, pode ser empregado para realização de controle ou monitoramento da RSSF. Ou seja, o mecanismo é o mesmo para acesso a dados como temperatura, luminosidade, etc (*PDU Get*) ou para alterar valores do pacote da RSSF (*PDU Set*) como abrir uma porta, acender lâmpadas, entre outros.

V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma proposta para implementação de gerência SNMP integrando redes TCP/IP com RSSF no contexto da IoT.

Foi proposto um experimento que validou a funcionalidade do sistema através de monitoramento da RSSF baseado num sistema RoF. Neste experimento foi feita a coleta de dados de RSSI entre nós sensores da RSSF para validar os resultados.

Desta forma, há indicação de viabilidade de gerência da RSSF através do protocolo SNMP com um sistema para integração através de um SNMP Proxy Gateway, mantendo-se as características básicas das duas redes: a rede TCP/IP

com uso integral de sua pilha de protocolos e a RSSF com a limitação de recursos como processamento e memória.

Como perspectiva para trabalhos futuros, é importante que o sistema proposto seja testado com maior número de nós sensores. Isso é importante para refletir maior tráfego de dados na RSSFs o que torna mais realista para ambientes de redes metropolitanas que, naturalmente, têm uma maior densidade de dispositivos gerenciáveis.

REFERENCIAS

- [1] D. Evans. "The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything", Cisco White paper. 2011
- [2] A. Jacquot "A New Management Method for Wireless Sensor Networks", 2010.
- [3] L. B. Ruiz. "On the Design of a Self-Managed Wireless Sensor Network". Self-Organization In Networks Today, 2005.
- [4] Lua. Disponível no website lua.org. Último acesso em maio, 2013.
- [5] W. Stallings. "SNMP, SNMPv2, SNMPv3, and RMON 1 and 2", Addison-Wesley 1999
- [6] W. Chen, N. Jain, and S. Singh, "ANMP: Ad hoc network management protocol," in Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 1999,
- [7] M. Hossen, B. Jang, K. Kim and Y. Park. "Extension of Wireless Sensor Network By Employing RoF-based 4G Network", 2009.
- [8] C. Shen, C. Jaikao, C. Srisathapornphat, and H. Huang, "The guerrilla management architecture for ad hoc networks," in MILCOM 2002
- [9] A. Sethi, D. Zhu, and P. Kalyanasundaram, "Shaman - an environment for distributed management applications," 2001.
- [10] Y. Ma, J. Chen, Y. Huang and M. Lee. "An Efficient Management System for Wireless Sensor Networks". MDPT Journal, 2010.
- [11] A. Ludovici, A. Calveras and J. Casademont. "Forwarding Techniques for IP Fragmented Packets in a Real 6LoWPAN Network", 2011
- [12] L.T. Steenkamp. "Wireless sensor network monitoring using the Simple Network Management Protocol". 2012.
- [13] BLIP - Berkeley IP Implementation. Disponível no website em smote.cs.berkeley.edu:8000/tracenv/wiki/blip. Último acesso em maio, 2013
- [14] Radiuino. Disponível em radiuino.cc. Acesso em maio, 2013
- [15] ScadaBR. Disponível em scadabr.com.br, Acesso em maio, 2013
- [16] OpenWRT. Disponível em openwrt.org. Acesso em maio, 2013
- [17] CC1101. Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver, Texas Instruments
- [18] LuaSNMP. Disponível em luasnmp.luaforge.net/index.html. Último acesso em maio, 2013