

**Universidade de Ribeirão Preto  
Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias  
Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental**

**JOÃO PAULO DE TOLEDO GOMES**

**PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS DE  
PRESSÃO ATRAVÉS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM SISTEMAS  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA  
RADIUINO E SCADABR**

Ribeirão Preto  
2015

João Paulo de Toledo Gomes

PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS DE  
PRESSÃO ATRAVÉS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM SISTEMAS  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA COM UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA  
RADIUINO E SCADABR

Dissertação apresentada a Universidade de  
Ribeirão Preto – UNAERP, como requisito  
parcial para obtenção do título de Mestre em  
Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Ribeirão Preto  
2015

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

G633p Gomes, João Paulo de Toledo, 1979-  
Protótipo para monitoramento e aquisição de dados de pressão  
através de redes de sensores sem fio em sistemas de abastecimento  
de água com utilização da plataforma Rádiuino e Scadabr / João  
Paulo de Toledo Gomes. - - Ribeirão Preto, 2015.  
102 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Dissertação (mestrado) - universidade de Ribeirão Preto,  
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2015.

1. Sistemas de abastecimento de água. 2. *Rádiuino*. 3. *ScadaBR*.  
I. Título.

CDD 628

João Paulo de Toledo Gomes

**“ Protótipo Para Monitoramento E Aquisição De Dados De Pressão  
Através De Redes De Sensores Sem Fio Em Sistemas De Abastecimento  
De Água Com Utilização Da Plataforma Radiuino Scadabr”.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientadora: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 06 de novembro de 2015

Resultado: APROVADO

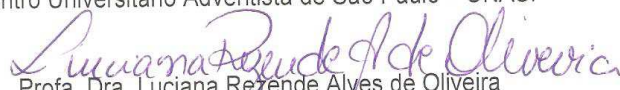
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP  
Presidente



Prof. Dr. Celso Luiz Franzotti  
Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Ribeirão Preto  
2015

Dedico aos meus pais, João e Marta, pelos exemplos, ensinamentos e honestidade

Ao meu irmão, Paulo Henrique, pela amizade e incentivo

Aos meus sogros, Pedro e Sirlene, minhas cunhadas, Aline, Suellen e Tathiana, pelo carinho,  
amizade e incentivo

Aos meus familiares, pela atenção e apoio

A minha esposa Josylene, pelo amor, companheirismo, incentivo, muita paciência,  
compreensão e força em todos os momentos desde o início desta caminhada.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e com ela toda a capacidade de realizar boas escolhas e buscar meus ideais. A Ele, toda a gratidão pelos momentos de alegria, o caminho nos momentos de incerteza e o refúgio nos momentos necessários. Por vários momentos em minha caminhada sempre me lembrei do Salmo 23: “O Senhor é meu pastor e nada me faltará...”, o que me dava um fôlego maior para suportar algumas fases.

À Universidade de Ribeirão Preto pela realização do meu mestrado.

Ao Professor Dr. Luciano Farias de Novaes, pela orientação, confiança, amizade e sabedoria. Pela demonstração de que é possível conquistar o sucesso superando os obstáculos e limitações, respeitando o próximo com humildade e honestidade.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental pelos conhecimentos transmitidos.

Aos funcionários da Unaerp pela dedicação e disposição contribuindo com a realização de várias etapas do curso.

Aos amigos da turma, pelos bons momentos compartilhados durante as aulas, laboratórios e extraclasse. Em especial, agradeço minha amiga Jussara Aparecida Teixeira, pelo convívio, amizade, ensinamentos, gentileza, atenção e caráter. Minha companheira de estrada, que com chuva, frio e muitas vezes extremo calor, fazíamos o trajeto de Passos a Ribeirão, e como não se lembrar do primeiro dia de viagem que erramos o caminho e entramos em Santo Antônio da Alegria, até hoje quando vejo a placa, lembro daquele dia. Também agradeço a minha amiga Lucília, que por um pequeno período, foi nossa companheira de viagem e compartilhou conosco sua alegria, determinação e amor na profissão.

Aos meus velhos amigos de Borda da Mata e novos amigos de Passos, pela amizade, força e consideração.

A minha família, em especial minha Tia Magali e meu Tio Mantovani, pelo amor, apoio, dedicação e torcida. Sempre muito atenciosos e preocupados, igualzinho minha mãe.

Aos meus sogros, Pedro e Sirlene, pelo apoio, conselhos, incentivo e orações, que me motivaram a concluir este trabalho.

A minha esposa Josylene, pela amizade e amor, que zela pela nossa felicidade, sempre presente e disposta a ouvir minhas angustias e meus anseios, dizendo palavras confortáveis

nos momentos difíceis, e que compartilha comigo momentos de felicidades inesquecíveis como este. Te amo!

Aos meus pais, neste momento não tenho palavras para expressar a minha proporção de gratidão e orgulho. Como agradecer a tantas renúncias a meu favor, os conselhos, os ensinamentos, as lágrimas derramadas por conta da distância? Pois é, vocês não me avisaram que em momentos como este não haveria palavras para expressar o que sinto... e hoje, só posso dizer que vocês são meus exemplos de vida e refúgio. Amo vocês!

E por fim, ao IFSULDEMINAS, pela flexibilização dos horários que contribuíram com a execução deste trabalho e a disponibilização de laboratórios e recursos para as pesquisas. Ao apoio através do Programa de Incentivo a Qualificação (PIQ). Aos colegas e alunos do Campus Passos pela parceria e convivência diária.

## RESUMO

A pressão em sistemas de abastecimento de água é o parâmetro operacional mais importante na gerência de ocorrência de vazamentos e sua frequência, portanto, o gerenciamento de pressões através do monitoramento contínuo com auxílio de tecnologias da informação visa contribuir e assegurar os padrões mínimos de abastecimento de água aos ramais consumidores. Dessa forma, esta dissertação apresenta o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo utilizando redes de sensores sem fio (RSSF) baseado na plataforma Rádium para supervisão da pressão em um sistema de abastecimento de água colaborando com as tomadas de decisão da concessionária para evitar um aumento dos custos de produção e destinação. O projeto exigiu não somente o desenvolvimento de um circuito de *hardware* e montagem dos módulos base e sensor, mas também o desenvolvimento de um *software* para gerenciamento dos respectivos módulos e sua integração a um sistema supervisor do tipo ScadaBR por onde os dados coletados dos sensores são monitorados em tempo real através de um painel visual. Com o avanço das tecnologias de informação e comunicação este processo ganha maior confiabilidade e agilidade mantendo um histórico dos dados sobre as condições da rede ao longo de um determinado período, contudo, a calibração do sensor de pressão e validação dos dados capturados pelo protótipo em campo, nos 3 pontos distintos de monitoramento, foram comparados com um manômetro manual a fim de garantir a precisão dos dados coletados. A elaboração do circuito eletrônico foi realizada toda em laboratório e bancada com utilização de *softwares* livres. O circuito sensor do protótipo foi alojado em uma caixa hermética que demonstrou robustez para atuar em ambientes de exposição à incidência solar direta, umidade e temperaturas variáveis, não comprometendo o circuito eletrônico. O *software* desenvolvido permitiu a captação dos dados de forma satisfatória principalmente em locais com ausência de conexão à rede. Em contrapartida, o supervisor ScadaBR, desempenhou satisfatoriamente o tratamento, visualização e disponibilização dos dados, principalmente através da *Internet* em tempo real. A grande vantagem da integração do sistema de supervisão remota ao protótipo foi a disponibilização dos dados de forma imediata e contínua pelo painel de visualização ou através de envio de *e-mail* e disponibilização de gráficos e planilhas mantendo um registro confiável do comportamento das pressões na rede ao longo de um período. Para complementar a aplicação foi projetado um arquivamento dos dados em um *log*, com a função de *datalogger*, de forma a manter os dados salvos em arquivo para análise posterior, sendo uma coleta redundante em caso de falhas do supervisor. Com os dados obtidos nos pontos monitorados foi possível observar que nos horários de pico de consumo, a pressão se eleva e durante o período noturno com grande parte da população dormindo e as atividades econômicas praticamente inexistentes, a pressão cai. Os resultados dos testes realizados em campo demonstram que o protótipo foi capaz de realizar de forma satisfatória a coleta dos dados de pressão e contribuir com a análise de desempenho e avaliação da situação do abastecimento de água no bairro Penha II em Passos/MG. O protótipo também apresentou custos de montagem e implantação muito baixos se comparados com os equipamentos comercialmente utilizados.

**Palavras-chave:** Monitoramento de pressão. Sistemas de abastecimento de água. Redes de sensores sem fio. Rádium. ScadaBR.



## ABSTRACT

The pressure in water supply systems it's the most important operational parameter in the management of the occurrence leaks and its frequency, therefore, the management of the pressures through the continuous monitoring with the aid of the information technology aims to contribute and to ensure minimum standards of the water supply to the branches consumers. This way, this paper presents the development of a low-cost prototype using wireless sensor networks (WSN) based in the Radiuino platform to supervision of the pressure in a water supply system collaborating with the decision making of the concessionaire to avoid an increase in production and destination costs. The project required not only the development of a hardware circuit and installation of base and sensor modules, but also the development of software to management from the respective modules and its integration to a supervisory system type ScadaBR which the data collected of the sensors are monitored in real time through a touch panel. With the information and communication technology advances this process get more reliability and agility keeping historical datas about the condition of network over a certain period, however, the calibration of the pressure sensor and data validation caught by the prototype in the field, in 3 separate monitoring points, it were compared with manual manometer in order to ensure the accuracy of data collected. The preparation of the electronic circuit was all completed in the laboratory and bench with free use of software. The sensor circuit of the prototype was hosted in an hermetic case that demonstrated robustness to perform in exposure environments to incident of direct solar light, humidity, and variable temperature not compromising the electronic circuit. The software developed allowed the capture of data in a satisfactory way, especially in areas in absence of network connections. In contrast, the ScadaBr supervisory performed satisfactorily the treatment, availability and display data, mainly through the internet in real time. The great advantage in the system integration of remote supervision to the prototype was the data available in an immediate and continuous way through the display panel or by sending an email and provision of graphs and spreadsheet keeping a dependable registry of the performances pressures in the networks over a period. To complement the application was designed a data record in a log with the function of datalogger in a way to keep the saved data in a file for later analysis, being a redundant collection in the case of failures of the supervisory. With the datas obtained in the monitored points could be observed at periods of peak consumption the pressure rises during nighttime a large part of the population sleeping and virtually nonexistent economic activities, the pressure falls. The results from tests conducted in field demonstrated that the prototype were able to perform in a satisfactory way the pressure data collection and contribute to the performance review and situation assessment of the water supply in Penha II District in Passos, MG. The prototype also presented low-costs of installation and implantation whether compared to machines commercially used.

**Keywords:** Pressure monitoring. Water supply system. Wireless sensor networks. Radiuino. ScadaBr.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Estrutura básica de um nó sensor de RSSF .....	20
<b>Figura 2</b> - Módulo da Radioit para aplicações básicas (em escala real).....	21
<b>Figura 3</b> – Funcionamento básico da plataforma Rádiuino.....	22
<b>Figura 4</b> – Diagrama Temporal para transmissão e recepção de pacote de dados da plataforma Rádiuino .....	23
<b>Figura 5</b> – Comparação da pilha de protocolos de redes convencionais e pilha de protocolos Rádiuino .....	25
<b>Figura 6</b> – Desenvolvimento da aplicação baseada na pilha de protocolos Rádiuino.....	28
<b>Figura 7</b> – Integração ScadaBR/Rádiuino através da pilha de protocolos .....	29
<b>Figura 8</b> - Sistema básico de abastecimento de água .....	30
<b>Figura 9</b> – Fluxograma das etapas para o desenvolvimento de um protótipo de monitoramento em sistemas de abastecimento de água .....	35
<b>Figura 10</b> – Módulo transceptor modelo BE900.....	36
<b>Figura 11</b> – Pinagem e aspecto físico do LM 35.....	38
<b>Figura 12</b> – Aspecto físico e posicionamento de pinos e portas do sensor de pressão MPX 5700DP. 39	
<b>Figura 13</b> – Curva de obtenção da pressão em função da tensão de saída aplicada ao sensor MPX5700DP .....	40
<b>Figura 14</b> – Circuito montado no <i>protoboard</i> .....	43
<b>Figura 15</b> – Programador do <i>firmware</i> dos transceptores .....	43
<b>Figura 16</b> – Processo de montagem da caixa hermética para acondicionar o circuito eletrônico do sensor.....	44
<b>Figura 17</b> – Montagem do módulo base.....	45
<b>Figura 18</b> – <i>Integrated Development Environment</i> do Arduino.....	46
<b>Figura 19</b> – Configuração da <i>data source</i> de integração do protótipo ao ScadaBR.....	47
<b>Figura 20</b> – Configuração do <i>data point</i> de pressão no ScadaBR.....	48
<b>Figura 21</b> – Configuração do <i>data point</i> de temperatura no ScadaBR.....	48
<b>Figura 22</b> – Manômetro utilizado para certificação e calibração da precisão do sensor de pressão MPX5700DP .....	49
<b>Figura 23</b> - Esquema elétrico do módulo sensor .....	51
<b>Figura 24</b> – Desenho da placa do circuito eletrônico do módulo sensor.....	52
<b>Figura 25</b> – Posição dos componentes para soldagem .....	52
<b>Figura 26</b> – Placa pronta para soldagem dos componentes.....	53
<b>Figura 27</b> – Montagem interior do protótipo.....	54

<b>Figura 28</b> – Cenário inicial de calibração dos sensores em bancada.....	55
<b>Figura 29</b> – Conexões para redução ao diâmetro do sensor de pressão .....	55
<b>Figura 30</b> – Adaptação para sensor de pressão .....	56
<b>Figura 31</b> – Circuito chaveador para bateria/fonte.....	56
<b>Figura 32</b> – Resultados obtidos com a calibração do sensor e certificados com o manômetro .....	57
<b>Figura 33</b> – Tela do menu desenvolvido em Python.....	58
<b>Figura 34</b> – Arquivo de log gerado pelo software de monitoramento.....	59
<b>Figura 35</b> – <i>Watch list</i> dos dados em tempo real.....	59
<b>Figura 36</b> – Painel de monitoramento .....	60
<b>Figura 37</b> – Pontos de monitoramento e análise de dados da pressão da água no Bairro Penha II em Passos/MG.....	61
<b>Figura 38</b> – Pressão no ponto 1 .....	63
<b>Figura 39</b> – Temperatura no ponto 1 .....	65
<b>Figura 40</b> – RSSI no ponto 1 .....	67
<b>Figura 41</b> – Pressão no ponto 2.....	68
<b>Figura 42</b> – Temperatura no ponto 2.....	70
<b>Figura 43</b> – RSSI no ponto 2.....	72
<b>Figura 44</b> – Pressão no ponto 3 .....	74
<b>Figura 45</b> – Temperatura no ponto 3.....	75
<b>Figura 46</b> – RSSI no ponto 3.....	77
<b>Figura 47</b> – Kit completo do protótipo (base e sensor).....	78

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Parâmetros para configuração da potência para a plataforma Rádiuino.....	22
<b>Tabela 2</b> – Valores de referência de intensidade de sinal.....	24
<b>Tabela 3</b> - Especificações técnicas do módulo BE900.....	36
<b>Tabela 4</b> - Pinagem do módulo BE900 .....	37
<b>Tabela 5</b> - Componentes eletrônicos auxiliares para o desenvolvimento do circuito eletrônico do protótipo .....	41
<b>Tabela 6</b> - Mapeamento físico e lógico de especificação de tarefas.....	42
<b>Tabela 7</b> – Pressão no ponto 1.....	62
<b>Tabela 7</b> – Pressão no ponto 1.....	63
<b>Tabela 8</b> – Temperatura no ponto 1.....	64
<b>Tabela 9</b> – RSSI no ponto 1.....	65
<b>Tabela 9</b> – RSSI no ponto 1.....	66
<b>Tabela 10</b> – Pressão no ponto 2.....	67
<b>Tabela 10</b> – Pressão no ponto 2.....	68
<b>Tabela 11</b> – Temperatura no ponto 2.....	69
<b>Tabela 11</b> – Temperatura no ponto 2.....	70
<b>Tabela 12</b> – RSSI no ponto 2.....	71
<b>Tabela 13</b> – Pressão no ponto 3.....	73
<b>Tabela 14</b> – Temperatura no ponto 3.....	74
<b>Tabela 14</b> – Temperatura no ponto 3.....	75
<b>Tabela 15</b> – RSSI no ponto 3.....	76
<b>Tabela 15</b> – RSSI no ponto 3.....	77
<b>Tabela 16</b> – Levantamento dos custos de desenvolvimento do protótipo .....	79

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Componentes de uma rede de abastecimento de água .....	31
<b>Quadro 2</b> - Prováveis causas de falhas em sistemas de abastecimento de água .....	32

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> - Conversão de bits pelo ADC .....	38
<b>Equação 2</b> - Temperatura em função do valor medido.....	38
<b>Equação 3</b> - Conversão de tensão em pressão.....	40
<b>Equação 4</b> - Pressão em função do valor medido.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK – *Acknowledgement*  
ADC – Conversor analógico-digital  
APP – Aplicativo móvel  
CDMA – *Code Division Multiple Access*  
CLP – Controlador Lógico Programável  
CSMA – *Carrier Sense Multiple Access*  
CTS – *Clear To Send*  
ETA – Estação de Tratamento de Água  
FDMA – *Frequency Division Multiple Access*  
GPRS - *General Packet Radio Services*  
IDE - *Integrated Development Environment*  
IEC - *International Electromechanical Commission*  
IP – *Internet Protocol*  
LLC – *Logical Link Control*  
MAC – *Media Access Control*  
MACA – *Multiple Access with Collision Avoidance*  
MACAW - *Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless*  
mca – Metros de coluna d'água  
RF – Rádio frequência  
RSSF – Redes de sensores sem fio  
RSSI - *Radio Signal Strength Indicator*  
RTS – *Request To Send*  
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
TCP - *Transmission Control Protocol*  
TDMA – *Time Division Multiple Access*  
TX/RX – Transmissão e Recepção  
USB – *Universal Serial Bus*

# SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	10
LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE QUADROS .....	12
LISTA DE EQUAÇÕES .....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	14
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
3.1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE AS RSSF .....	20
3.2 PLATAFORMA DE REDES DE SENSORES SEM FIO RADIUINO .....	21
3.2.1 Descrição do Funcionamento da Plataforma RADIUINO .....	22
3.2.2 A Pilha de Protocolos da RSSF .....	25
3.2.2.1 Camada física .....	25
3.2.2.2 Camada MAC (Media Access Control) .....	26
3.2.2.3 Camada de rede .....	27
3.2.2.4 Camada de transporte .....	28
3.2.2.5 Camada de aplicação .....	28
3.2.3 Supervisório Scada .....	29
3.3 DESCRIÇÃO GERAL DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	29
3.3.1 Materiais e Componentes Utilizados em uma Rede .....	31
3.4 PRINCIPAIS PROBLEMAS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO .....	31
3.5 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS UTILIZADOS NO CONTROLE DE PRESSÃO .....	33
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
4.1 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO .....	35
4.1.1 Módulo Transceptor BE900 .....	35
4.1.2 Sensor de Temperatura .....	37

4.1.3	Sensor de Pressão .....	38
4.1.4	Outros Componentes Eletrônicos e Peças .....	41
4.1.5	Elaboração do Circuito de <i>Hardware</i> .....	41
4.2	MONTAGEM DO PROTÓTIPO .....	44
4.2.1	Montagem do módulo sensor .....	44
4.2.2	Montagem do módulo base .....	44
4.3	DESENVOLVIMENTO DO <i>SOFTWARE</i> .....	45
4.3.1	Integração do Protótipo ao ScadaBR .....	46
4.4	REALIZAÇÃO DOS TESTES COM O PROTÓTIPO .....	49
4.5	CUSTOS DO PROTÓTIPO .....	50
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
5.1	DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO .....	51
5.2	MONTAGEM E CALIBRAÇÃO DO PROTÓTIPO .....	53
5.3	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE E A INTEGRAÇÃO AO SISTEMA DE SUPERVISÃO .....	57
5.4	REALIZAÇÃO DOS TESTES EM CAMPO .....	60
5.4.1	Pressão no Ponto 1 .....	62
5.4.2	Temperatura no Ponto 1 .....	63
5.4.3	RSSI no Ponto 1 .....	65
5.4.4	Pressão no Ponto 2 .....	67
5.4.5	Temperatura no Ponto 2 .....	69
5.4.6	RSSI no Ponto 2 .....	70
5.4.7	Pressão no Ponto 3 .....	72
5.4.8	Temperatura no Ponto 3 .....	74
5.4.9	RSSI no Ponto 3 .....	76
5.5	CUSTOS FINAIS DO DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....	77
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>
	APÊNDICE A – Aplicação (APP) .....	84
	APÊNDICE B – <i>Software</i> elaborado para as funcionalidades do JPL-01 .....	86
	APÊNDICE C – Relatório de monitoramento no ponto 1 .....	89
	APÊNDICE D – Relatório de monitoramento no ponto 2 .....	90
	APÊNDICE E – Relatório de monitoramento no ponto 3 .....	91
	ANEXO A – Mapa do pacote de 52 bytes .....	92



ANEXO B – <i>Firmware</i> (módulo base) .....	93
ANEXO C – Cabeçalho (Headers.h) para os módulos base e sensor .....	97
ANEXO D – <i>Firmware</i> (módulo sensor).....	99

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água de um município independente de seu tamanho representa um conjunto complexo dividido basicamente em 3 fases: a captação da água, seu tratamento e distribuição ao consumidor, entretanto, este processo envolve o planejamento tanto na implantação quanto na expansão. Esse sistema é composto por tubulações, válvulas, reservatórios e bombas, responsáveis por atender as condições sanitárias, de pressão e vazão nos diversos pontos de consumo. Ao longo da rede de distribuição ocorre a queda na pressão devido à carga decorrente do atrito nas tubulações e/ou de vazamentos.

Outros fatores como o aumento do consumo e a escassez de água nos mananciais também exigem das concessionárias uma gestão eficiente dos recursos hídricos no planejamento de novas redes e reparos, compra de equipamentos, acessórios e prestação de serviços destinados ao abastecimento de água potável para o consumo residencial, comercial e industrial.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2014) com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) aponta que 90 cidades entre as 100 maiores do Brasil não conseguiram reduzir as perdas por vazamento, ligações clandestinas e outras irregularidades e 62 cidades das 100 analisadas apresentaram perda entre 30% e 60% de água tratada para consumo em 2012. Neste sentido, a diminuição das perdas hídricas com a redução das pressões de operação da rede de distribuição torna-se fundamental para a redução de vazamentos e é um fenômeno conhecido há muito tempo pelas companhias de saneamento e distribuição de água (FONSECA, 2011).

Segundo a NBR 12.218/94, a pressão estática máxima nas tubulações deve ser de 50 mca (metros de coluna d'água) e a pressão dinâmica mínima deve ser de 10 mca.

Segundo Porto (2006), os valores do projeto devem garantir uma carga de pressão dinâmica mínima de 15 mca e máxima de 50 mca, visando à redução de perdas por vazamentos nas juntas das tubulações.

Desta forma o gerenciamento de pressões através do monitoramento com auxílio de tecnologias da informação visa controlar e assegurar os padrões mínimos de abastecimento aos ramais consumidores. Portanto, este projeto propõe um protótipo de baixo custo para supervisão da pressão em um sistema de abastecimento de água colaborando com as tomadas de decisões da concessionária para evitar um aumento dos custos de produção e destinação.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver um protótipo (*hardware*) de baixo custo utilizando RSSF (Redes de Sensores Sem Fio), baseado na plataforma Rádiumino<sup>1</sup> para o controle de sensores de pressão e temperatura alocados em um sistema de abastecimento de água. Também os dados coletados são disponibilizados em um sistema supervisor do tipo SCADA (ScadaBR<sup>2</sup>), onde as informações obtidas são armazenadas em um banco de dados ficando disponíveis para consulta ou enviadas por *e-mail* ou SMS.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa foram estabelecidos:

- Desenvolver um circuito eletrônico, de baixo custo, para monitoramento de pressão e temperatura em sistemas de abastecimento de água;
- Montar um protótipo para monitoramento de pressão e temperatura em sistemas de abastecimento de água;
- Desenvolver um software para captação, processamento e armazenamento dos dados monitorados pelo protótipo e integrá-lo a um sistema de supervisão remota do tipo SCADA;
- Realizar teste do protótipo em campo;
- Levantar os custos do protótipo.

---

<sup>1</sup> Plataforma aberta de desenvolvimento de redes de sensores sem fio e foi criada com base no ambiente de desenvolvimento Arduino.

<sup>2</sup> É um sistema supervisor completo, disponibilizado em licença *Open Source* (*software* livre) para desenvolver aplicações automatizadas em qualquer tipo de ambiente: indústrias, laboratórios, automação predial, saneamento, sistemas de energia, distribuição de gás, agricultura, etc.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

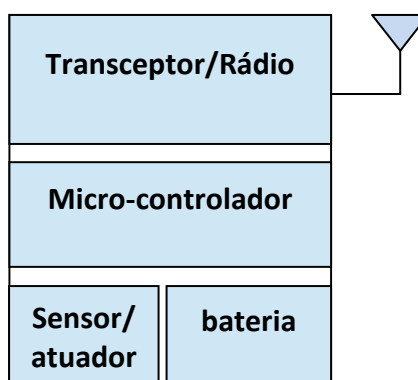
Neste capítulo serão apresentados os conceitos gerais sobre RSSF (Redes de Sensores Sem Fio), funcionamento da plataforma de rede escolhida, bem como os conceitos sobre o funcionamento dos sistemas de abastecimento de água apresentando um panorama a respeito das perdas de água provocadas principalmente por pressão excessiva na rede e os recursos e técnicas disponíveis na tentativa de diminuir vazamentos com auxílio de automação.

#### 3.1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE AS RSSF

As RSSF são um tipo específico de redes móveis e são formadas em sua maioria por pequenos nós sensores cujos recursos de energia, largura de banda, processamento e armazenamento de dados são limitados (LOUREIRO et al., 2003). A tecnologia de RSSF é um recurso muito explorado para instrumentação e medidas, por combinar sensoriamento, computação e comunicação em um único e pequeno dispositivo (HILL, 2003).

Com o surgimento das RSSF diversas pesquisas foram alavancadas devido ao baixo custo, tamanho e a diversidade de aplicações, entre elas está o monitoramento em áreas de conflito e/ou desastre, monitoramento de ambientes industriais, distribuição de gás, energia, agricultura, saneamento, entre outros, podendo ser coletados diversas informações. A Figura 1 apresenta a estrutura básica de um nó sensor que é composto por uma antena que via rádio frequência (RF) atua na transmissão e recepção dos dados, e efetua o processamento e conversão de sinais analógico-digitais (ADC) através de um micro-controlador, estes sinais são obtidos por sensores e todo o nó sensor é mantido por uma bateria.

**Figura 1 - Estrutura básica de um nó sensor de RSSF**



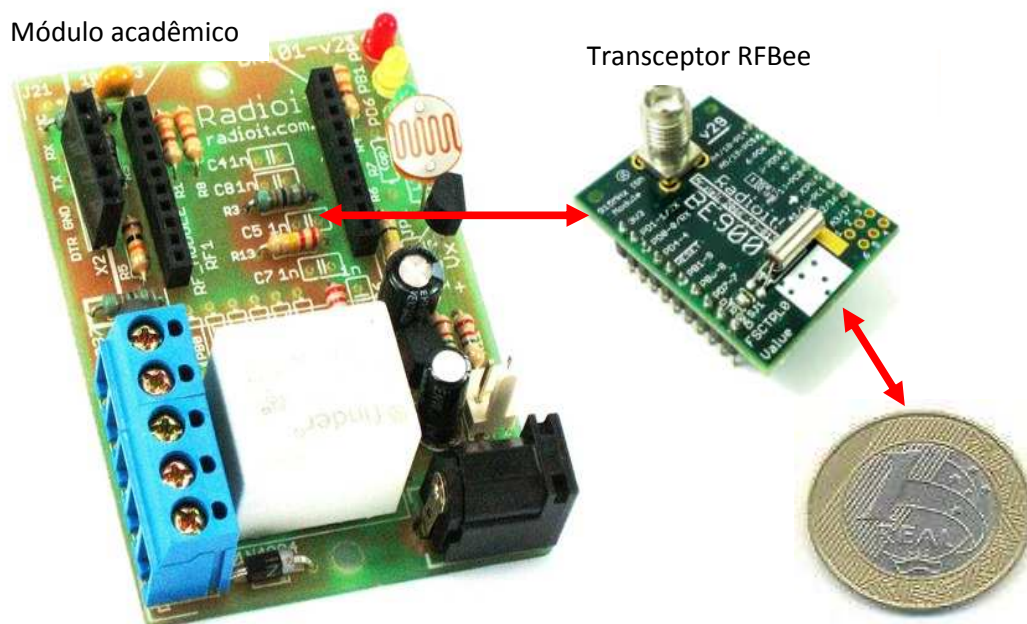
**Fonte:** Adaptado de Loureiro et al., 2003.

### 3.2 PLATAFORMA DE REDES DE SENSORES SEM FIO RADIUINO

Existem diversas plataformas de desenvolvimento no mercado baseado no Arduino, entre elas a plataforma RADIUINO que foi criada em 2010 através de uma iniciativa do Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho da PUC-Campinas. Apesar de ser uma plataforma recém criada, sua escolha foi devido à simplicidade no desenvolvimento de aplicações aliado a um ambiente amigável baseado no Arduino. O RADIUINO é uma plataforma aberta para criação de redes de sensores sem fio (Figura 2), oferecendo interfaces com os mais diversos sensores e atuadores, digitais ou analógicos, transmitindo as informações coletadas por meio de um protocolo<sup>3</sup> totalmente adaptável, via rádio frequência (RF). Possui também *driver*<sup>4</sup> para conexão ao supervisor ScadaBR (RADIUINO, 2014).

As transmissões sem fio são através da banda de 915 MHz, liberada pela Anatel, utilizando o transceptor CC1101 da *Texas Instruments*, e utiliza o *Integrated Development Environment* (IDE) do Arduino, onde através de linguagem de programação é possível o desenvolvimento dos *firmwares*<sup>5</sup> (RADIUINO, 2014).

**Figura 2 - Módulo da Radioit para aplicações básicas (em escala real)**



**Fonte:** Adaptado de Radiuino (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

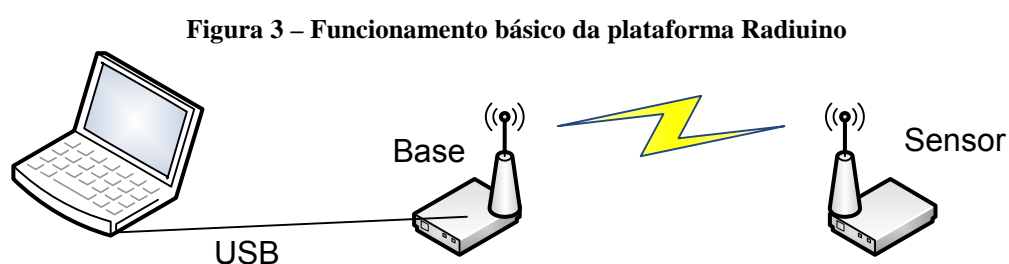
3 É uma regra de comunicação implementada em *hardware* e/ou *software*.

4 É um *software* que permite a integração ou utilização com outros sistemas computacionais.

5 É um conjunto de instruções operacionais que são programadas em um *hardware* para executar uma determinada tarefa.

### 3.2.1 Descrição do Funcionamento da Plataforma RADIUINO

A plataforma RADIUINO funciona basicamente através de 2 componentes que se comunicam sem fio, ou seja, uma base e um sensor conforme esquema descrito na Figura 3. A base necessita de um *firmware* específico de modo a realizar uma interface entre computador e nó sensor. Para o sensor também é inserido um *firmware* específico para atender as necessidades do projeto (RADIUINO, 2014).



**Fonte:** Adaptado de RADIUINO (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

O RADIUINO necessita de configuração de alguns parâmetros que são fundamentais para seu funcionamento:

- **Potência de Transmissão:** potência que o rádio utiliza para transmitir os pacotes. Tanto a base quanto o sensor utilizam a mesma potência, e seu valor pode variar de acordo com a aplicação, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Parâmetros para configuração da potência para a plataforma RADIUINO**

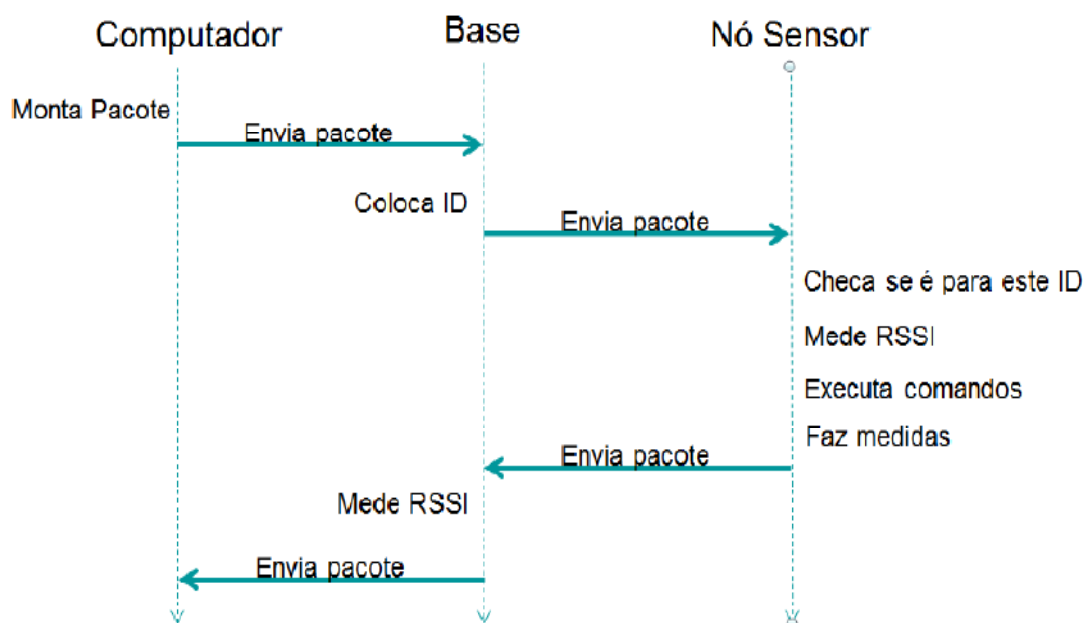
CÓDIGO	POTÊNCIA (dBm)
0	-30
1	-20
2	-15
3	-10
4	0
5	5
6	7
7	10

**Fonte:** Adaptado de RADIUINO (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

- Canal: base e sensor devem ser configurados no mesmo canal de comunicação;
- Offset de frequência: ajuste de calibração do RF em função da precisão do cristal;
- ID da base e sensor: é o endereço que identifica os nós na rede e devem ser diferentes.

O computador envia um pacote de 52 *bytes* para a base via USB, a base por sua vez incrementa ao pacote seu ID (identificação do endereço) e transmite através de rádio frequência com uma determinada potência previamente programada no *firmware* da base. O nó sensor recebe o pacote da base e mede a intensidade de sinal recebida RSSI (*Radio Signal Strength Indicator*), o sensor analisa o pacote para verificar as instruções do que deve ser feito e retorna para a base as informações que serão processadas pelo computador e exibe o resultado das solicitações, veja o processo através do diagrama temporal exposto na Figura 4.

Figura 4 – Diagrama Temporal para transmissão e recepção de pacote de dados da plataforma Rádiuino



Fonte: Rádiuino (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

Para a medida de intensidade de sinal (RSSI) é feito a medida de *downlink* (da base para o sensor) e a de *uplink* (do sensor para a base) (RADIUINO, 2014).

Uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) que estabelece comunicação através de RF emprega rádios de baixa potência e a transmissão é feita com uma potência máxima de 10mW (10 dBm). Os sinais de RF se dispersam e se atenuam no caminho de propagação, o que faz com que a potência recebida seja sempre menor do que a potência desprendida pelo transmissor (GIACOMIN et al., 2010).

A Tabela 2 apresenta os valores de referência baseado na potência de transmissão e permite gerenciar a distância entre os nós base e sensor de acordo com o valor obtido de RSSI.

**Tabela 2 – Valores de referência de intensidade de sinal**

Valores de referência RSSI (dBm)	Situação
-30 a -60	Sinal muito forte – sensor e base estão próximos
-60 a -90	Força do sinal excelente – próximo da cobertura de recepção da base
-90 a -105	Boa recepção - mas ocasionais perdas podem ocorrer
-105 a -115	Recepção média - pode ter pontos cegos quando o sinal oscila
-105 a -120	Recepção de sinal será esporádica, sinal fraco – pode perder informações e não é confiável.

**Fonte:** Adaptado de *Industrial Networking* (<http://blog.industrialnetworking.com/2014/04/making-sense-of-signal-strengthsignal.html>). Acesso em: 15/06/2015.

Este pacote de 52 *bytes* é montado pelo computador respeitando a programação do *firmware*, desta forma o pacote é enviado pela base ao nó sensor que processa e executa o que foi programado, em seguida o nó sensor devolve este pacote à base para ser processada pelo computador e exibir os resultados. No Anexo A é possível identificar a divisão dos 52 *bytes* do pacote distribuídos entre os protocolos da pilha:

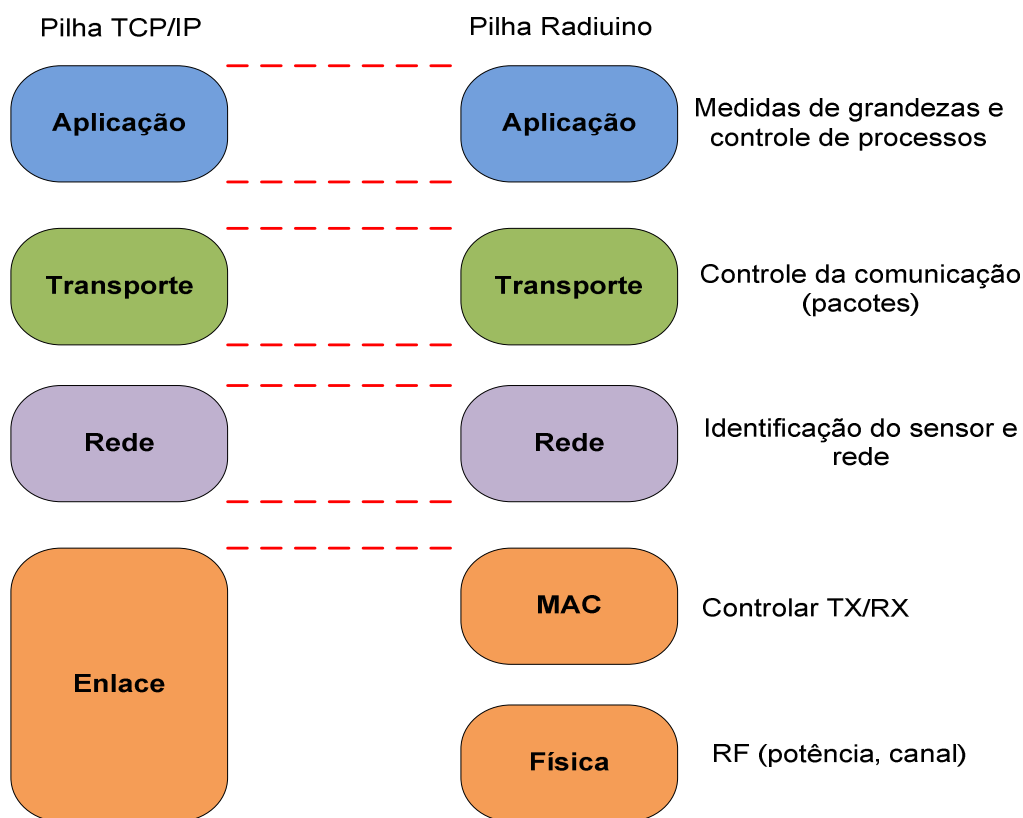
- Camada física: 4 bytes
- Camada MAC: 4 bytes
- Camada de Rede: 4 bytes
- Camada de Transporte: 4 bytes
- ADC: 18 bytes – 3 bytes cada ADC
- I/O: 18 bytes – 3 bytes cada I/O



### 3.2.2 A Pilha de Protocolos da RSSF

As redes de modo geral funcionam através de uma pilha de protocolos conhecida como TCP/IP onde cada camada desta pilha possui funções específicas para encaminhamento das informações entre origem e destino. Considerando os aspectos de tamanho reduzido dos sensores e limitação de memória, a pilha TCP/IP não pode ser usada em sua essência, entretanto, na pilha de protocolos proposta pela plataforma Rádiumo é possível identificar as funções necessárias para execução mantendo semelhança com a pilha TCP/IP (CYRIACO, 2011), conforme ilustra a Figura 5.

**Figura 5 – Comparação da pilha de protocolos de redes convencionais e pilha de protocolos Rádiumo**



Fonte: Autor, 2014.

#### 3.2.2.1 Camada física

A camada física é a camada mais próxima do *hardware*, ou seja, ela é responsável por adequar o que vai ser transmitido ao meio de comunicação, que neste caso é uma

comunicação sem fio via RF (LUQUETA, 2012). Esta camada tem uma importância relevante, pois determina como os nós se comportam no ambiente, portanto alguns parâmetros essenciais devem ser ajustados para um bom desempenho da rede:

- Modulação
- Potência
- Canal
- Ganho da antena
- Taxa de transmissão

### 3.2.2.2 Camada MAC (*Media Access Control*)

Na pilha TCP/IP a camada de enlace possui a função de *Logical Link Control* (LLC) responsável pela ligação com a camada superior (camada de rede), entretanto em RSSF não é utilizado o LLC, então desta maneira a camada MAC se torna a 2ª camada da pilha de RSSF/Radiuino.

Sua atribuição é gerenciar a comunicação entre os elementos da rede visto que em RSSF o canal é compartilhado por todos e ocorre uma disputa pelo meio de acesso. Neste sentido a camada MAC é responsável por organizar a comunicação evitando a colisão de mensagens transmitidas ao mesmo tempo (LUQUETA, 2012).

Cada camada da rede possui protocolos com funções determinadas, e na camada MAC não é diferente. Para organizar a comunicação temos os seguintes protocolos:

1. Livres de disputa pelo meio:
  - CDMA: *Code Division Multiple Access*, ou Acesso Múltiplo por Divisão de Código, ou seja, é um protocolo de acesso usado em meio compartilhado e muito comum em tecnologias celulares e *wireless* (KUROSE e ROSS, 2006);
  - FDMA: *Frequency Division Multiple Access*, ou Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência;
  - TDMA: *Time Division Multiple Access*, ou Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo;
2. Baseados em disputa:
  - ALOHA: protocolo desenvolvido no Havaí na década de 70 (significa *hello*) que permite o compartilhamento de informações com um único meio de comunicação através de ondas eletromagnéticas via rádio frequência (KUROSE e ROSS, 2006);

- CSMA: *Carrier Sense Multiple Access*, ou Acesso Múltiplo com Sensoriamento da Portadora, é um protocolo que visa evitar a colisão de pacotes (KUROSE e ROSS, 2006);
- MACA: *Multiple Access with Collision Avoidance*, ou Acesso Múltiplo com Prevenção de Colisão, é um protocolo mediador de acesso que envia/recebe mensagens em um meio compartilhado (KUROSE e ROSS, 2006);
- MACAW: *Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless*, ou Acesso Múltiplo com Prevenção de Colisão para Redes Sem Fio, este protocolo é uma otimização do MACA para redes sem fio (KUROSE e ROSS, 2006);

Entre os protocolos citados, os livres de disputa não apresentam colisão, porém não são adequados para uso em RSSF. Entre os protocolos baseados em disputa o mais indicado é o protocolo MACAW. Através deste protocolo é enviada uma mensagem de *Request-to-Send* (RTS) pelo nó base, e uma mensagem *Clear-to-Send* (CTS) que autoriza a transmissão, o nó sensor responde uma mensagem de *Acknowledgement* (ACK) de confirmação indicando que o meio de comunicação está livre (CYRIACO, 2011).

### 3.2.2.3 Camada de rede

Esta camada tem a função de identificar o nó sensor na rede, ou seja, um endereço que identifique aquele determinado sensor no ambiente.

Nas redes tradicionais o endereçamento de rede se dá através de dois protocolos:

- IPv4: endereço de 32 *bits* (KUROSE e ROSS, 2006).
- IPv6: endereço de 128 *bits* (RFC 2460, 2009).

Em RSSF o endereço é simplificado, sendo adotados números em escala decimal, como por exemplo, um nó sensor recebe o endereço 1, outro nó sensor recebe o endereço 2, e assim sucessivamente, mas não necessariamente em ordem e repetidos.

Esta camada também é responsável por algoritmos de roteamento para atender diversas peculiaridades da rede, é um dos tópicos mais estudados em redes de sensores principalmente por algoritmos que envolvam consumo de energia.

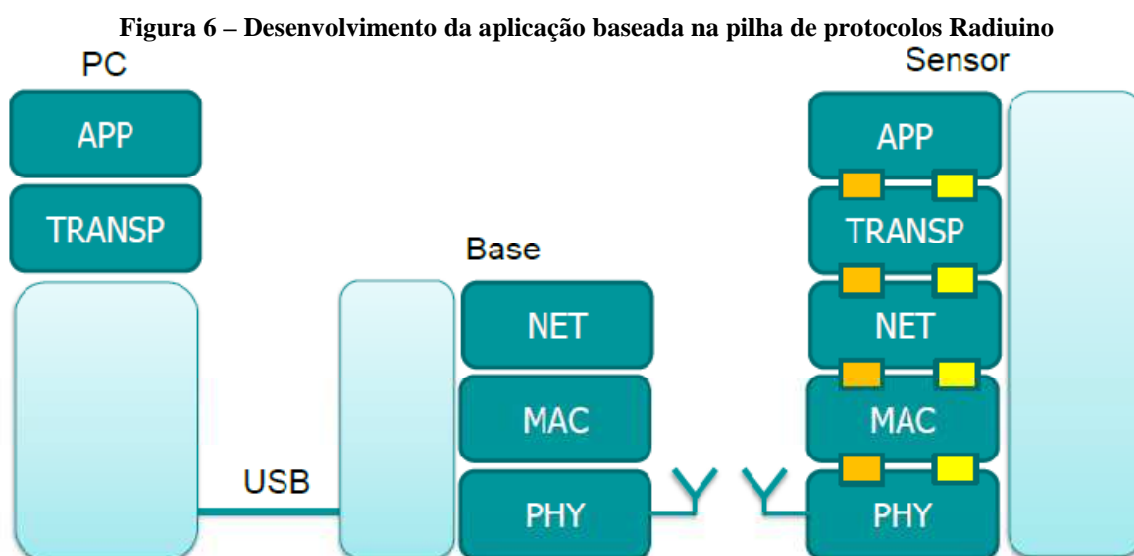
### 3.2.2.4 Camada de transporte

Esta camada é responsável pela garantia de entrega dos dados de forma íntegra entre os nós base e sensor, por exemplo. Ela também tem a função de contar e controlar a perda de pacotes em uma transmissão.

Além de controlar os congestionamentos das solicitações de transmissão, a camada de transporte também é responsável por enviar um *ACK* de um pacote recebido entre receptor e transmissor (CYRIACO, 2011).

### 3.2.2.5 Camada de aplicação

Esta camada é responsável pelo código principal da aplicação que gerencia o que os sensores devem executar, como por exemplo, medida de grandezas, acionamento de motores, bombas, etc. Também é responsável pela gestão da rede e demais camadas inferiores, onde a aplicação deve respeitar a arquitetura da pilha de protocolos, apresentado na Figura 6.



**Fonte:** Rádiumino (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

Na camada de aplicação também é realizado o tratamento dos dados recebidos dos nós sensores através do conversor analógico-digital (ADC) (LUQUETA, 2012).

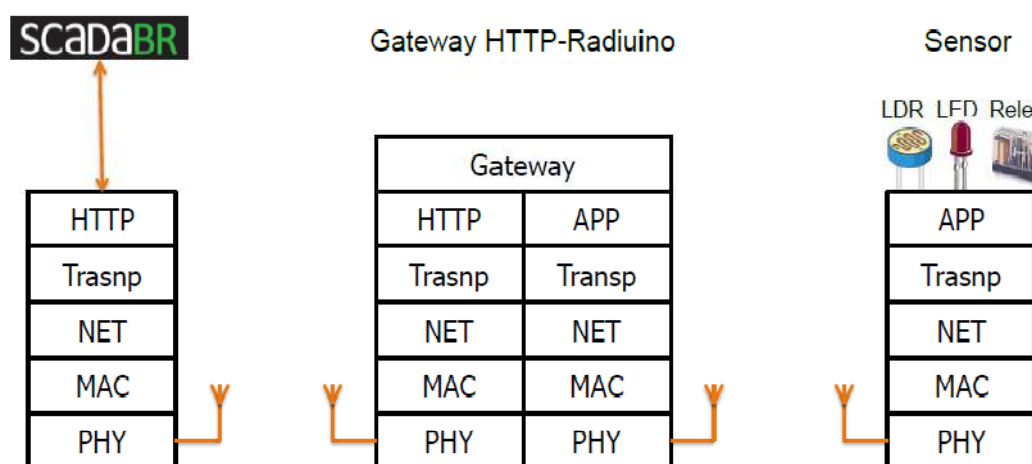
### 3.2.3 Supervisório Scada

O sistema SCADA, é um sistema *open source* para monitoramento e controle de dados que são coletados por CLPs ou sensores, no caso deste trabalho. Este supervisório possui uma interface amigável com o usuário através de imagens, gráficos e relatórios. É um sistema robusto de fácil manipulação e instalação e muito utilizado na indústria. Com este sistema é possível supervisionar diversas grandezas, como temperatura, umidade, pressão, etc, em tempo real (SCADABR, 2014).

O sistema possui suporte para banco de dados e armazena informações por um período que pode ser programado de acordo com a necessidade, sendo grande diferencial, a possibilidade de configurar alarmes que são encaminhados por e-mail informando as condições naquele determinado instante, caso os valores medidos não estejam em conformidade com a situação.

O ScadaBR possui integração com o Rádiuino através da pilha de protocolos demonstrada conforme Figura 7.

**Figura 7 – Integração ScadaBR/Rádiuino através da pilha de protocolos**



Fonte: Rádiuino (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

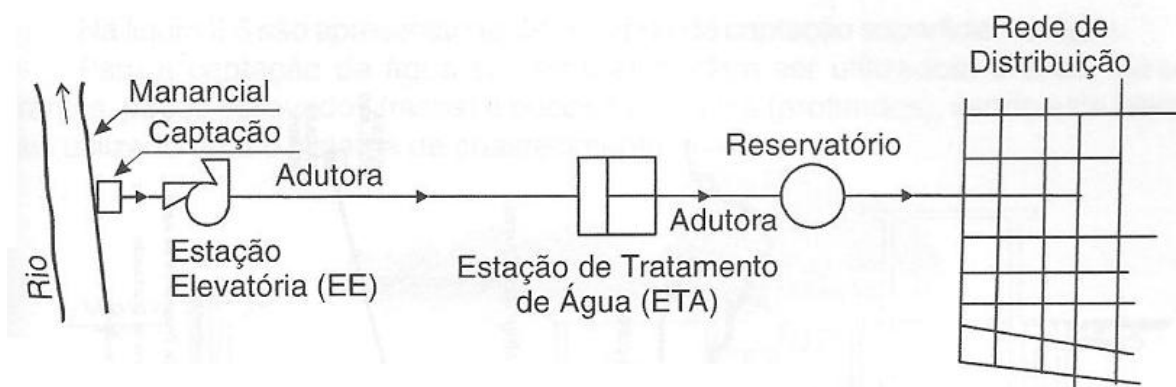
### 3.3 DESCRIÇÃO GERAL DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em um sistema de abastecimento de água (SAA) atendendo a Resolução CONAMA 357/2005 e as Portarias 518/2004 e 2914/2011, no que tange os padrões de distribuição de

água potável para consumo humano, tem-se uma sequência dividida em etapas que envolvem a captação através de rios, represas ou poços, e através de uma tubulação (adutora) a água chega a uma estação de tratamento de água (ETA) passando por um processo de tratamento. A água tratada é armazenada em grandes reservatórios e inserida na rede de distribuição para abastecimento de residências, indústrias e comércio.

Para atender satisfatoriamente o consumo da população, outros reservatórios podem ser usados distribuídos em bairros, e dependendo da topografia do município ou região, são necessárias bombas capazes de impor uma determinada pressão a fim de atender regiões mais altas, por exemplo. A Figura 8 apresenta basicamente o processo de captação, tratamento, armazenamento e distribuição da água (TSUTIYA, 2006).

**Figura 8 - Sistema básico de abastecimento de água**



**Fonte:** Tsutiya, 2006.

Um SAA possui os seguintes arranjos físicos:

- **Malha:** são troncos primários onde se conecta uma rede secundária, este arranjo físico se assemelha a um anel. O fluxo de distribuição da água pode variar de acordo com a topografia.
- **Ramificada:** o fluxo de distribuição de água segue um único sentido e se assemelha a uma espinha de peixe.
- **Mista:** mescla entre os arranjos físicos em malha e ramificados.

A água é enviada aos consumidores que são ligados ao sistema através de um ramal, onde possui instalado um cavalete com hidrômetro, e em seguida abastece o reservatório residencial local (BRESSANI, 2011).

### 3.3.1 Materiais e Componentes Utilizados em uma Rede

Segundo Bressani (2011), em sistemas de abastecimento de água podem ser encontrados vários tipos de tubos, entre eles os mais comuns são o PVC e o ferro fundido, sendo o PVC o mais utilizado recentemente pelas facilidades de manuseio e manutenção. Estes tubos possuem 6 metros de comprimento e são conectados uns aos outros por uma junta conhecida por ponta e bolsa. Também para que todo o processo de distribuição seja operacionalizado são utilizados outros componentes, conforme apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1 – Componentes de uma rede de abastecimento de água**

<b>COMPONENTES</b>	<b>FUNÇÃO</b>
Booster	Aumentar a pressão ou vazão na rede para atender regiões com topografias elevadas
Hidrante	Instalado para uso emergencial, caso de incêndios
Tap	Inserção de medidores de pressão e vazão na rede
Válvula ou registro	Executar manobras na rede
Válvula redutora de pressão	Adequar às pressões da rede
Ventosa	Evitar a entrada de ar no esvaziamento da rede e saída em seu enchimento, mais utilizado em pontos elevados do sistema

**Fonte:** Adaptado de Bressani, 2011.

Para que a operacionalização seja executada com eficácia é necessário conhecer não somente os componentes inseridos na rede, mas também todas as informações sobre ela, como por exemplo: a topografia (cotas), os projetos, tipo e modelo de equipamentos, dados atualizados das condições de abastecimento, últimas manutenções, etc. Todos estes dados devem ser catalogados através de um registro técnico possibilitando maior agilidade em operações emergenciais, manutenções e futura expansão da rede.

### 3.4 PRINCIPAIS PROBLEMAS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O principal problema em um SAA são as perdas, que podem ser não físicas e físicas. As perdas não físicas são aquelas que fogem ao controle da empresa responsável pelo abastecimento, ou seja, são ligações clandestinas e erros de medição (que pode ser solucionado com um bom treinamento dos funcionários) que fazem com que parte do volume

da água de consumo não seja faturada. Já as perdas físicas são os volumes perdidos ao longo de todo o processo de transformação da água bruta captada até chegar ao consumidor.

Entre os métodos para controle das perdas físicas destaca-se o controle de pressão, que segundo Moura et al. (2004) as prováveis falhas no sistema de abastecimento de água que vão desde o planejamento até a operação do sistema são ocasionadas pela sub ou sobrepressão, causando entupimento ou rompimento das tubulações, conforme descrito no Quadro 2.

**Quadro 2 - Prováveis causas de falhas em sistemas de abastecimento de água**

<b>FALHA</b>	<b>CAUSA</b>
Subdimensionamento	Sobrepressão
Ausência de ventosas	Subpressão
Cálculos transientes	Sub e sobrepressão
Regras de operação	Sub e sobrepressão
Setorização	Sobrepressão
Enchimento	Sub e sobrepressão
Esvaziamento	Subpressão
Manobras	Sub e sobrepressão
Treinamento	Sub e sobrepressão

**Fonte:** Adaptado de Moura et al., 2004.

Além destas falhas apontadas por Moura et al. (2004), existe também a falta de manutenção adequada, erros de operação e materiais impróprios ou de má qualidade que ocasionam o mau funcionamento do sistema.

Portanto, o gerenciamento da pressão é fundamental para a redução significativa de novos vazamentos em SAA e é conhecido há muito tempo por pesquisadores e técnicos das companhias de saneamento, porém durante anos, utilizou-se no cálculo de estimativas de perdas de água o princípio baseado na raiz quadrada, onde a vazão perdida é proporcional a raiz quadrada da pressão na rede hidráulica (BEZERRA, 2009).

Bragalli e Sacchi (2002) ressaltam a diminuição do número de novos rompimentos nas tubulações como resultado da gestão de pressões. Lambert (2002) apresenta dados de diferentes sistemas, no mundo, para demonstrar que a gerência da pressão reduz a frequência de rompimentos:

- Austrália: a redução em 40% na pressão em um setor de uma cidade resultou na redução de rompimentos em 55%;
- Nova Zelândia: a redução na pressão média de 71 para 54 mca em *Auckland* resultou na redução de rompimentos para o valor mais baixo observado em 8 anos;



- Brasil: a aplicação da gestão da pressão em 8 setores da cidade de São Paulo, com 140 km de tubulações, resultou numa redução de 38,7% dos rompimentos.

### 3.5 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS UTILIZADOS NO CONTROLE DE PRESSÃO

A medição de pressão, como visto anteriormente, torna-se parte fundamental do processo de diagnóstico de um sistema de abastecimento, e possibilita estudar longos períodos em diferentes dias da semana, para tanto, existe formas de monitoramento e armazenamento manuais e eletrônicas. As manuais consomem muito recurso humano e tempo, e na maioria das vezes utilizam-se manômetros, e a coleta de dados são por amostragens, e às vezes não muito precisas.

Atualmente com o avanço das tecnologias de informação e comunicação este processo ganha maior confiabilidade e agilidade mantendo um histórico das informações armazenado para estudos sobre as condições da rede ao longo de determinado período. Contudo, existem alguns exemplos de acessórios e medidores de pressão que utilizam telemetria para operar e interagir com algum equipamento instalado em campo, como o uso de *dataloggers* com grande capacidade de armazenamento de dados para estudos em tempo real ou posteriores.

Algumas empresas fornecem equipamentos e soluções de telemetria que interagem com *softwares*, protocolos do tipo *modbus*<sup>6</sup>, envio via GPRS, entre outros, e possuem como saída de dados para armazenamento as seguintes tecnologias:

- Saída 4-20 mA: muito utilizado para armazenar dados de macromedidores eletromagnéticos, sensores de nível, sensores de pressão, painéis de comando via GPRS enviando informações para o centro de controle ou servidor de dados.
- Saída pulsada: utilizada para armazenar dados de medidores com saída pulsada como hidrômetros, macromedidores tipo *woltmann* ou eletromagnéticos.

Muitos dispositivos na indústria trabalham com sinais contínuos e por isso requerem sinais analógicos que sejam compatíveis com sua aplicação.

São dispositivos como:

- Transmissores;
- Válvulas proporcionais;
- Sensores;

---

<sup>6</sup> É um Protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial.

- Inversores de frequência;
- Analisadores Industriais.

Utilizam sinais analógicos para transmitir ou receber informações de controle ou medição em variáveis como pressão, vazão, nível, temperatura, etc.

O sinal padrão de transmissão eletrônico é o de 4 a 20 mA, recomendado pela *International Electromechanical Commission* (IEC).

O sinal de um sensor de pressão é um exemplo comum que pode ser aplicado na entrada analógica do micro-controlador, para que possa ser lido o seu valor. Existe ainda o sinal de transmissão de 1 a 5 Vdc.

Segundo Bega (2006), os sensores de pressão utilizam um elemento primário mecânico elástico, combinado com um transdutor elétrico, que gera um sinal elétrico padronizado, correspondente à pressão medida.

O elemento primário mecânico elástico que pode ser diafragma, tubo *Bourdon*, espiral, helicoidal, fole ou combinação destes elementos, é conectado ao processo e se movimenta/deforma/desloca em função da pressão aplicada sobre ele. Este movimento é enviado ao transdutor elétrico do sensor, através de um sistema adequado, que o converte em um sinal eletrônico padronizado de saída 4 a 20 mA (BEGA, 2006).

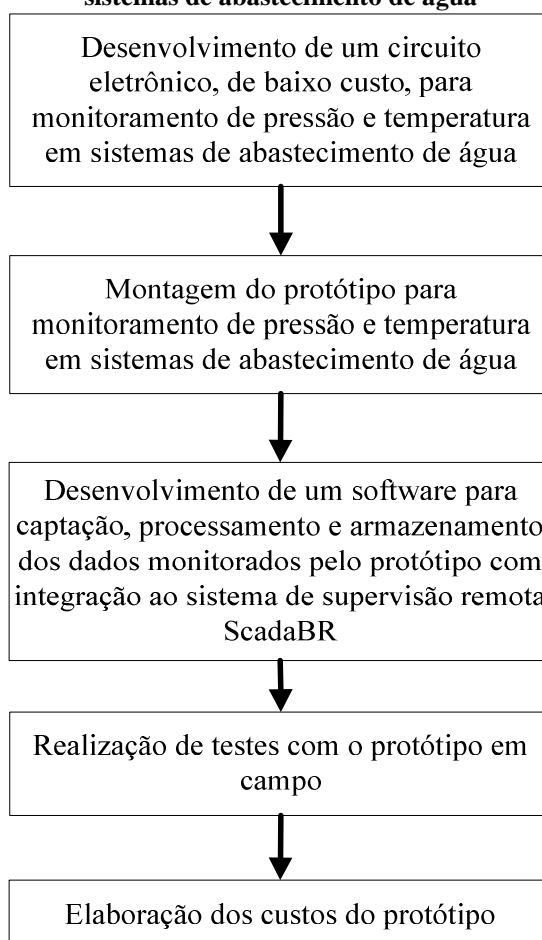
Algumas empresas que oferecem soluções de telemetria:

- Enops (<http://www.enops.com.br>)
- Lamon (<http://www.lamon.com.br>)
- Clean (<http://www.clean.com.br>)
- Vector (<http://www.vector.com.br>)
- Restor (<http://www.restor.com.br>)
- Cássio Lima (<http://www.cassiolima.com.br>)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi elaborado conforme fluxograma apresentado na Figura 9.

**Figura 9 – Fluxograma das etapas para o desenvolvimento de um protótipo de monitoramento em sistemas de abastecimento de água**



**Fonte:** Autor, 2015.

### 4.1 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

#### 4.1.1 Módulo Transceptor BE900

Para comunicação entre base e sensor foram utilizados um par de módulos BE900 (Figura 10) que se comunicam sem fio em uma frequência de 915MHz com processador e transceptor integrados possibilitando a criação de diversas aplicações para monitoração e

controle. Sua escolha foi devido à simplicidade no desenvolvimento de aplicações aliado a um ambiente amigável baseado no Arduino (RADIOIT, 2014).

**Figura 10 – Módulo transceptor modelo BE900**



**Fonte:** Radioit (<http://www.radioit.com.br/produtos/design-kits/dk102>). Acesso em: 12/08/2014.

A Tabela 3 apresenta as especificações técnicas essenciais para o projeto do circuito eletrônico onde foi acoplado o módulo transceptor e a Tabela 4 apresenta a pinagem do módulo indicando quais pinos são os responsáveis pelas entradas e saídas, analógicas e digitais, entre outras funções. Estas especificações formam a base de apoio para estabelecer o mapeamento físico e lógico no auxílio da elaboração do circuito eletrônico (*hardware*), da programação do *firmware* do protótipo e programação do supervisor ScadaBR.

**Tabela 3 - Especificações técnicas do módulo BE900**

<b>RF</b>				
Frequência de operação	902-907MHz; 5 MHz; 915-928 MHz			
Modulação	2FSK			
Taxa de dados de RF	Até 500Kbps			
Potência de Tx	Até +10dBm			
Sensibilidade de Rx	Até -112dBm			
Alcance indoor	Até 100 m			
Alcance outdoor	Até 500 m			
<b>Micro-controlador</b>				
Memória	32 KB flash; 2KB RAM; 1KB EEPROM			
Clock CPU	8MHz			
Conversores AD	Até 7 canais de 10 bits			
Saídas PWM	2			
Entradas/saídas digitais	Até 14 entradas ou saídas			
Especificações elétricas	Min.	Tip.	Max.	Unid.
Tensão de entrada	3.0	3.3	3.6	Vdc
Corrente de transmissão		34.5		mA
Corrente de recepção		18.1		mA
Corrente de inatividade		5.2		mA
Corrente de dormência		<0.3		mA
Temperatura de operação	-50		125	°C

**Fonte:** Adaptado de Radioit (<http://www.radioit.com.br/produtos/design-kits/dk102>). Acesso em: 12/08/2014.

Tabela 4 - Pinagem do módulo BE900

Pino	Nome	Função
1	3V3	Alimentação de entrada 3,3V
2	PD1/TX	Pino de saída da UART
3	PD0/RX	Pino de entrada da UART
4	PD4/T0	Clock externo da UART, entrada externa do timer/counter0
5	RESET	Pino de reset
6	PB1/OC1A	Saída da comparação A do timer/counter1
7	PB0/ICP1	Entrada de captura do timer/counter1, saída do clock do sistema
8	PD7/AIN1	Entrada negativa do comparador analógico
9	DTR	Para programação do microcontrolador ATmega328
10	GND	Terra
11	A3/PC3	Entrada e saída analógica/digital
12	A2/PC2	Entrada e saída analógica/digital
13	A1/PC1	Entrada e saída analógica/digital
14	VREF	Referência de voltagem do ADC
15	A0/PC0	Entrada e saída analógica/digital
16	A7	Entrada analógica
17	T1/PD5	Entrada externa do timer/counter1, saída da comparação B do timer/counter0
18	AIN0/PD6	Entrada positiva do comparador analógico, saída da comparação A do timer/counter0
19	A5/PC5	Entrada e saída analógica/digital
20	A4/PC4	Entrada e saída analógica/digital

Fonte: Adaptado de Radioit (<http://www.radioit.com.br/produtos/design-kits/dk102>). Acesso em: 12/08/2014.

#### 4.1.2 Sensor de Temperatura

Foi utilizado um sensor de temperatura LM 35 (Figura 11) com objetivo de monitorar a temperatura interna do circuito, este cuidado deve ser tomado principalmente por questões de precisão dos dados coletados. Como cada componente utilizado no protótipo opera com limites mínimos e máximos de temperatura, é essencial controlar esta grandeza a fim de contribuir com a credibilidade dos dados capturados e enviados do módulo sensor para o módulo base. A especificação técnica de configuração e operação deste sensor encontra-se em seu *datasheet*<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> É um documento que apresenta informações e características técnicas de um componente eletrônico ou equipamento.

Figura 11 – Pinagem e aspecto físico do LM 35



Fonte: Texas Instruments (<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>). Acesso em: 22/08/2014.

O LM35 não necessita de qualquer calibração externa para fornecer os dados com precisão, porém necessita de conversão pelo ADC, pois a leitura dos valores são entre 0 e 1023, ou seja, a entrada analógica do BE900 que possui uma resolução de 10 *bits* ( $2^{10} = 1024$ ) e sabendo que neste sensor cada 1°C equivale a 10mV podemos deduzir uma equação para a temperatura em função do valor lido:

$$\text{Temperatura} = (V_{out} (VS/1023)) * 100 \quad (1)$$

Desenvolvendo a Equação 1 temos:

$$\text{Temperatura} = V_{out} * 0.3225 \quad (2)$$

Onde:

- VS: 3,3Vcc
- Vout: variação da tensão medida no pino do BE900

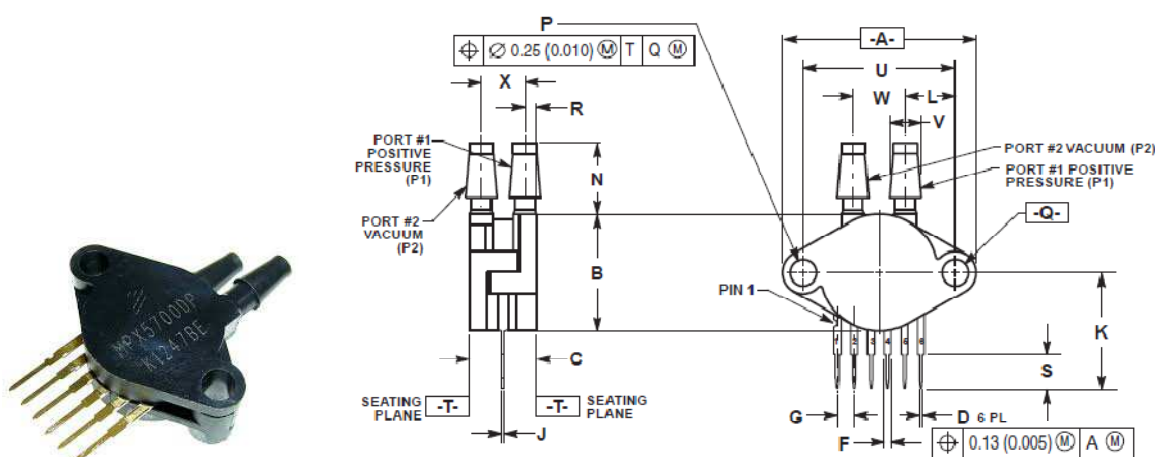
#### 4.1.3 Sensor de Pressão

Foi utilizado um sensor de pressão modelo MPX 5700DP, fabricado pela *Freescale Semiconductor*. Este sensor é do tipo piezoresistivo, ou seja, possui uma placa de silício acoplada a eletrodos metálicos que quando submetido a uma compressão mecânica altera sua resistência.

Este regulador de pressão pode ser utilizado em qualquer sistema. Segundo o *datasheet* do fabricante, este sensor apresenta uma compensação interna de temperatura para medidas precisas que variam nas temperaturas entre 0 a 85 °C, e este é um dos motivos pelo qual é importante controlar a temperatura. Possui dois pontos de entrada de pressão (Figura

12), podendo ser utilizado para medição em um determinado ponto, bastando para isto deixar uma de suas entradas exposta a pressão atmosférica (pressão relativa), ou como o diferencial de pressão entre dois pontos distintos. O MPX 5700DP atende a uma faixa de pressão que varia de 0 a 70 mca (metros de coluna d'água), apresentando erro máximo de 2,5 % dentro da faixa de temperatura. Quando alimentado por uma tensão estabilizada de 5 Vcc, este sensor emite sinais analógicos que variam de 0,2 a 4,7 Vcc, os quais podem ser transformados em leituras de pressão por um dos conversores ADC contidos no módulo transceptor BE900.

**Figura 12 – Aspecto físico e posicionamento de pinos e portas do sensor de pressão MPX 5700DP**

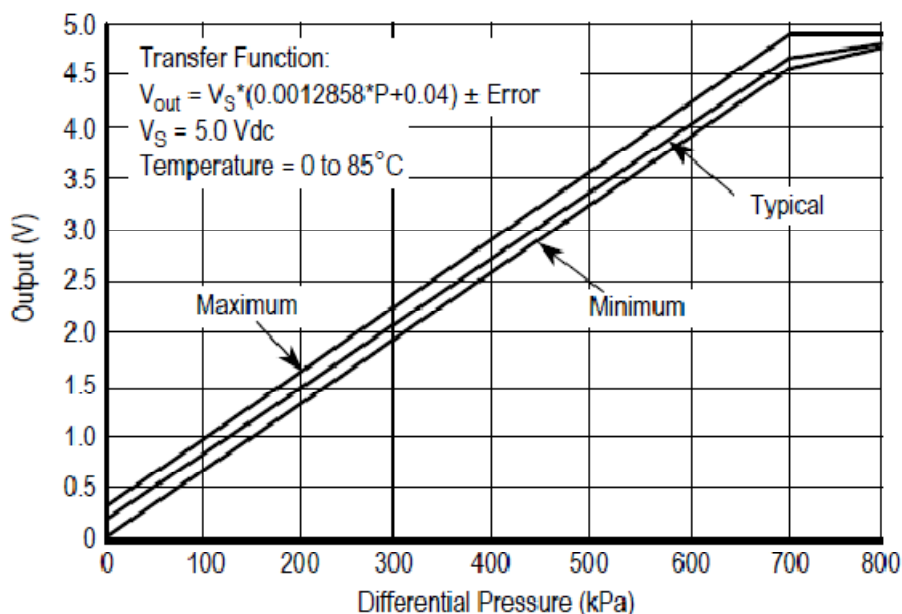


Fonte: Freescale ([http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPX5700.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5700.pdf)). Acesso em 06/09/2014.

O sensor possui 6 pinos, sendo o pino 1 responsável pelo sinal de saída do sensor ( $V_{out}$ ), este pino recebe um valor de tensão entre 0,2 e 4,7 Vcc, referente a força exercida à placa de silício e o valor medido naquele instante é convertido em pressão. O pino 2 é o terra (GND) e o pino 3 é a entrada de alimentação do sensor ( $V_{in}$ ). Os pinos 4, 5 e 6 não são utilizados, desta forma foram cortados para não causar confusão na montagem.

Para converter os valores de tensão ( $V_{out}$ ) em pressão foi necessário utilizar uma equação fornecida pelo fabricante conforme é demonstrado na Figura 13.

Figura 13 – Curva de obtenção da pressão em função da tensão de saída aplicada ao sensor MPX5700DP



Fonte: Freescale ([http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPX5700.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5700.pdf)). Acesso em 06/09/2014.

Através desta equação foi possível obter o valor da pressão naquele determinado instante, e para cada modelo de sensor existe uma equação específica para converter os valores de tensão em pressão dentro de seus parâmetros mínimos e máximos. Então temos:

$$V_{out} = V_S * (0.0012858 * P + 0.04) \quad (3)$$

Onde:

- $V_S$ : tensão de entrada estabilizada (5Vcc)
- $V_{out}$ : sinal de saída entre 0,2 e 4,7 Vcc
- $P$ : diferença de pressão aplicado nas portas P1 e P2 do sensor

Para efeito de programação do software e configuração do supervisor ScadaBR foi necessário encontrar a pressão ( $P$ ), então para o desenvolvimento da Equação 3, o valor de  $V_S$  deve estar em mV, assim chega-se a seguinte equação:

$$P = (0.1556 * V_{out}) - 31.111 \quad (4)$$



#### 4.1.4 Outros Componentes Eletrônicos e Peças

Nos itens anteriores foram especificados os principais componentes deste protótipo, porém são necessários outros componentes eletrônicos, peças e acessórios fundamentais para o funcionamento do circuito, conforme apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Componentes eletrônicos auxiliares para o desenvolvimento do circuito eletrônico do protótipo**

Componente	Quant.	Descrição
Resistor 100 K	1	Este componente tem como função evitar danificar o pino ADC do BE900 que recebe o sinal analógico do LM 35 (Vout)
Diodo 1N4001	4	Reduzir a tensão que sai do 7805 para alimentar o BE900 e acender o Led (informação visual de que está ligado)
Regulador de voltagem 7805	1	Regular a voltagem dos sensores de temperatura e pressão
Led vermelho	1	Apenas visual, demonstrando que o equipamento está ligado
Botão liga/desliga	1	-
Soquete para bateria 9V	1	-
Bateria de 9V	1	-
Soquete 10 pinos para encaixe do BE900	2	-

Fonte: Autor, 2014.

#### 4.1.5 Elaboração do Circuito de *Hardware*

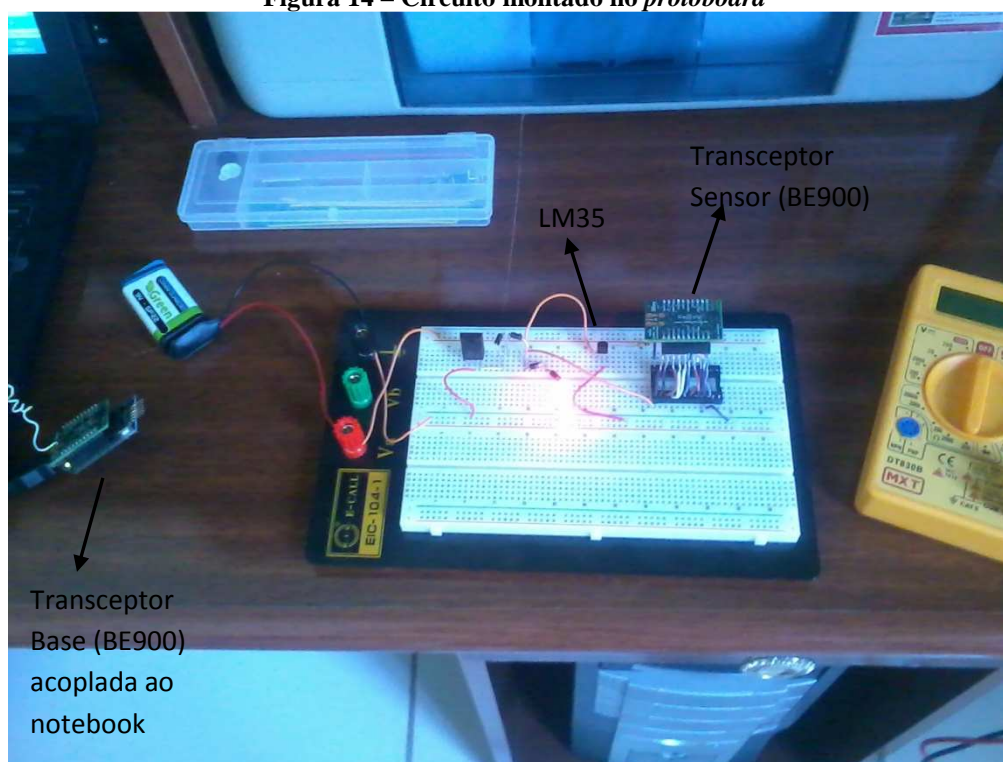
Para o projeto do circuito (*hardware* do protótipo) foi considerado as especificações técnicas do BE900 onde se torna necessário um mapeamento dos pinos para uma associação ao seu *firmware* e para desenvolvimento do *software* de monitoramento. A Tabela 6 apresenta o mapeamento dos pinos que serão utilizados e a grandeza a ser medida.

Tabela 6 - Mapeamento físico e lógico de especificação de tarefas

Função	Função	Identificação BE900	Pino BE900	Tarefa	Bytes no Pacote
Conversores Analógico para Digital	AD0	PC0	15	Medir temperatura	16,17,18
	AD1	PC1	13	Medir pressão	19,20,21
	AD2	PC2	12	Não utilizado	22,23,24
	AD3	PC3	11	Não utilizado	25,26,27
	AD4	PC4	20	Não utilizado	28,29,30
	AD5	PC5	19	Não utilizado	31,32,33
Entradas ou Saídas Digitais	IO0	PD4	4	Não utilizado	34,35,36
	IO1	PD5	17	Não utilizado	37,38,39
	IO2	PD6	18	Não utilizado	40,41,42
	IO3	PD7	8	Não utilizado	43,44,45
	IO4	PB0	7	Não utilizado	46,47,48
	IO5	PB1	6	Não utilizado	49,50,51

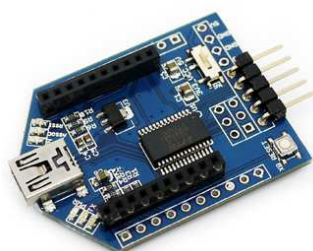
Fonte: Adaptado de Radiuino (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014.

Como o projeto envolveu muito estudo e poderia ser alterado o esquema de funcionamento do circuito por um todo, adotou-se uma montagem preliminar com auxílio de um *protoboard* (matriz de contatos) ao qual permitiu a alteração de posição ou substituição dos componentes eletrônicos sem a necessidade de uma confecção de placa e utilização de soldas. Então para esta versão de circuito utilizou-se apenas o sensor de temperatura (LM35) por ser um componente de baixo custo e para verificar o comportamento do circuito, conforme demonstra a Figura 14.

**Figura 14 – Circuito montado no *protoboard***

Fonte: Autor, 2014.

Esta versão inicial para desenvolvimento do circuito foi composta por uma bateria de 9V, um regulador de voltagem de 5V, 4 diodos, 1 resistor, um led e um soquete para o transceptor. A base foi composta por um transceptor acoplado no UART (Figura 15) que também é o programador do *firmware* dos transceptores base e sensor.

**Figura 15 – Programador do *firmware* dos transceptores**

Fonte: Radioit (<http://www.radioit.com.br/produtos/design-kits/dk102>). Acesso em: 12/08/2014.

## 4.2 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

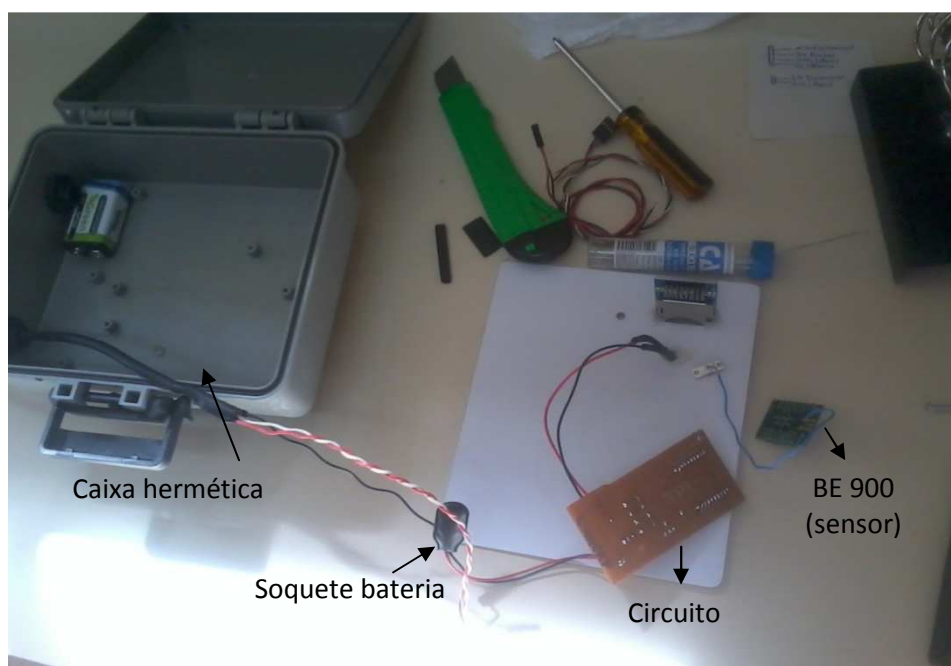
Nesta fase a montagem dividiu-se em duas etapas: uma para montagem do módulo sensor e outra para montagem do módulo base.

### 4.2.1 Montagem do módulo sensor

Nesta etapa o circuito foi acondicionado em uma caixa hermética (Figura 16). Esta caixa hermética permite que o circuito fique protegido de condições climáticas adversas se exposto ao ar livre e possui as seguintes características:

- Dimensão: 19 x 15,5 x 7 cm
- Material: Termo-plástico auto-extinguível
- Grau de proteção: IP 44 a IP 56

**Figura 16 – Processo de montagem da caixa hermética para acondicionar o circuito eletrônico do sensor**



**Fonte:** Autor, 2015.

### 4.2.2 Montagem do módulo base

Este módulo foi formado por um transceptor BE900 acoplado ao UART, que por sua vez, foi inserido ao computador de gerência da rede através de um cabo USB, conforme demonstrado na Figura 17.

**Figura 17 – Montagem do módulo base**



Fonte: Autor, 2015.

Características da caixa plástica utilizada para armazenar o módulo base:

- Marca/Modelo: Patola PB 075
- Material: Plástico ABS com tampa e abas
- Dimensão: 30x60x75mm

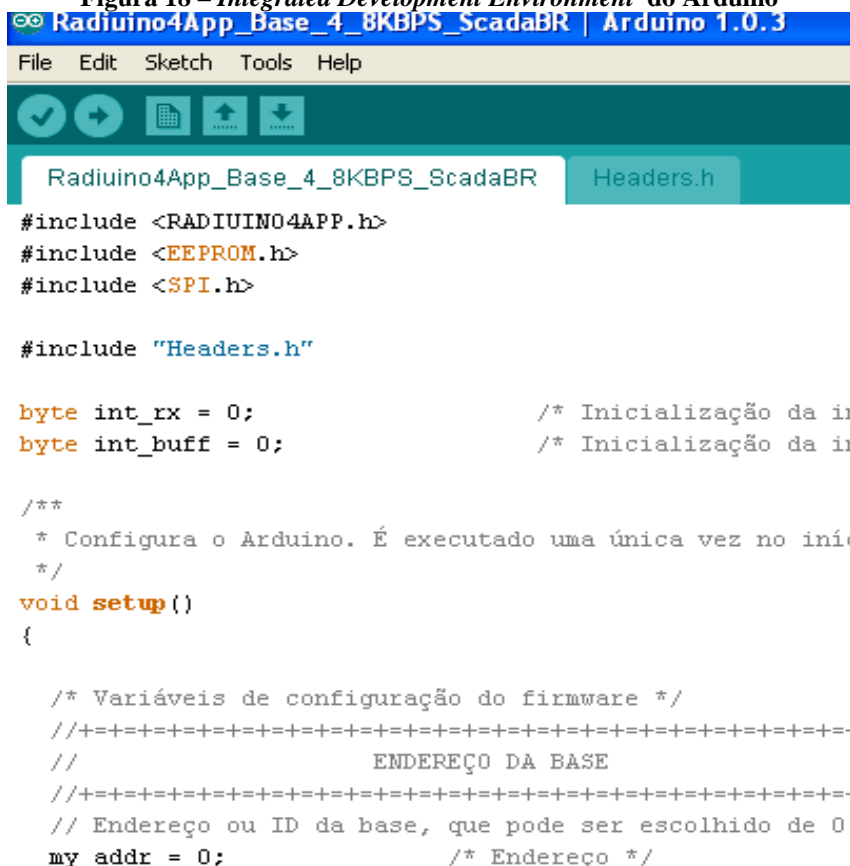
#### 4.3 DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE*

Para o desenvolvimento do *software* foi necessário elaborar um algoritmo para montar um pacote de 52 *bytes* com as instruções de operação dos módulos base e sensor, portanto, para que houvesse comunicação entre os transceptores, foi necessário utilizar um *firmware* específico da plataforma, e que contém as instruções de cada camada da pilha de protocolos Radiuino.

Tanto o *firmware* da base (Anexo B) quanto o do sensor (Anexo D) possuem código fonte aberto, entretanto, para este projeto a modificação do *firmware* não se aplica. Além do *firmware* base e sensor, tem-se o código referente ao cabeçalho (Anexo C) que é o mesmo código presente nos arquivos da base e sensor e responsável pelos parâmetros de funcionamento dos transceptores.

Nesta etapa foi necessário abrir os arquivos do *firmware* através do IDE do Arduino, e ajustar os parâmetros de potência, canal, endereço, serial e *offset*, de acordo com as necessidades do protótipo, e fazer o *upload* de cada *firmware*. A Figura 18 apresenta a IDE do Arduino com um trecho do *firmware* do módulo base.

**Figura 18 – Integrated Development Environment do Arduino**



```

RADIUINO4App_Base_4_8KBPS_ScadaBR | Arduino 1.0.3
File Edit Sketch Tools Help

Radiuino4App_Base_4_8KBPS_ScadaBR Headers.h
#include <RADIUINO4APP.h>
#include <EEPROM.h>
#include <SPI.h>

#include "Headers.h"

byte int_rx = 0;           /* Inicialização da ir
byte int_buff = 0;        /* Inicialização da ir

/**
 * Configura o Arduino. É executado uma única vez no início
 */
void setup()
{

    /* Variáveis de configuração do firmware */
    //+++++
    //                               ENDEREÇO DA BASE
    //+++++
    // Endereço ou ID da base, que pode ser escolhido de 0
    my_addr = 0;           /* Endereço */

```

**Fonte:** Autor, 2015.

O código da classe de aplicação (APP) que também integra a estrutura de arquivos do módulo sensor foi modificado para atender as necessidades do projeto (Apêndice A). Esta modificação foi realizada mediante o estabelecido no mapeamento físico e lógico, sendo o AD0 para medir temperatura e com utilização dos *bytes* 16, 17 e 18, e o AD1 para medir a pressão com utilização dos *bytes* 19, 20 e 21.

Para o desenvolvimento do *software* foi utilizada a linguagem de programação Python ([python.org.br](http://python.org.br)) por se tratar de uma linguagem de fácil utilização e objetiva no desenvolvimento de aplicações de monitoramento.

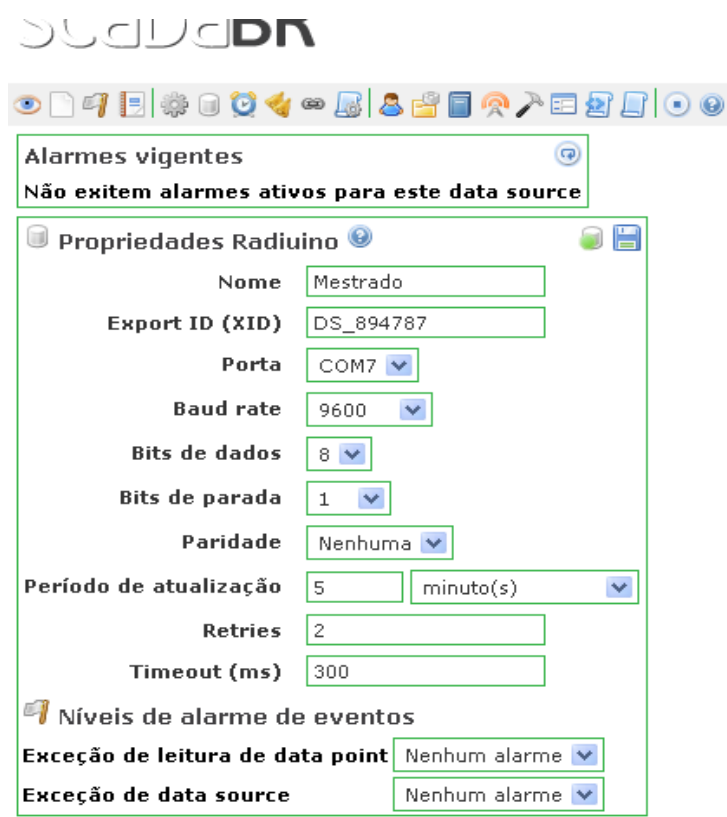
#### 4.3.1 Integração do Protótipo ao ScadaBR

O ScadaBR é um sistema supervisorio disponibilizado sob licença *Open Source* (*software* livre), ou seja, toda sua documentação e código-fonte estão à disposição

([scadabr.com.br](http://scadabr.com.br)), sua instalação segue os mesmos procedimentos de qualquer *software*. O sistema instalado funciona como um servidor *web* utilizando o Apache Tomcat<sup>8</sup> e Java, e pode ser acessado de qualquer *browser*.

Depois de instalado foi necessário escolher o protocolo de comunicação utilizado entre base e sensor, e criar a *data source* (Figura 19), item fundamental para funcionamento do sistema, pois se trata da configuração da porta serial, intervalo de monitoramento e outros parâmetros essenciais para os equipamentos que são fisicamente monitorados a distância.

**Figura 19 – Configuração da *data source* de integração do protótipo ao ScadaBR**



Fonte: Autor, 2015.

Em seguida foi necessário configurar os *data points*, que são os pontos a serem medidos, e neste projeto são representados pelas leituras de pressão, temperatura e RSSI. A Figura 20 demonstra a configuração do ponto de pressão.

<sup>8</sup> Servidor *web* Java que através de qualquer *browser* provê funcionalidades básicas para configurar e gerenciar as aplicações *web* que estão rodando no servidor.

**Figura 20 – Configuração do *data point* de pressão no ScadaBR**

Data points			
Nome	Tipo de dado	Status	
Pressao	Numérico		
RSSI	Numérico		
temperatura	Numérico		

Detalhes do data point	
Nome	Pressao
Export ID (XID)	DP_913572
Endereço do sensor	1
Tipo de dados radiuino	Inteiro (2 bytes sem sinal)
Índice do byte (pacote Radiuino)	20
Quantidade de bytes	2
Multiplicador	0.1556
Offset	0
Configurável	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Autor, 2015.

Neste ponto foi configurado o endereço do módulo sensor, que indica onde o sensor de pressão está localizado, mas também foi necessário especificar qual o *byte* este sensor responde no transceptor BE900 conforme estabelecido na Tabela 8 sobre o mapeamento físico e lógico. No detalhamento do ponto, o *byte* inicial é o 20 e possui a quantidade de 2 *bytes*, ou seja, são utilizados os *bytes* 20 e 21. O multiplicador é o valor especificado pelo *datasheet* do sensor MPX 5700 demonstrado através da Equação 4.

A Figura 21 apresenta o detalhamento do ponto de temperatura seguindo o mesmo conceito do ponto de pressão.

**Figura 21 – Configuração do *data point* de temperatura no ScadaBR**

Data points			
Nome	Tipo de dado	Status	
Pressao	Numérico		
RSSI	Numérico		
temperatura	Numérico		

Detalhes do data point	
Nome	temperatura
Export ID (XID)	DP_058600
Endereço do sensor	1
Tipo de dados radiuino	Inteiro (2 bytes sem sinal)
Índice do byte (pacote Radiuino)	17
Quantidade de bytes	2
Multiplicador	0.3225
Offset	0
Configurável	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Autor, 2015.



#### 4.4 REALIZAÇÃO DOS TESTES COM O PROTÓTIPO

Os testes iniciais com o circuito eletrônico e o *software* foram realizados no Laboratório de *Hardware* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Passos, e a calibração do sensor de pressão foi executada em um ramal predial com auxílio de um manômetro para comparar com os dados capturados pelo sensor de pressão.

O manômetro (Figura 22) utilizado na calibração do sensor de pressão possui a seguinte descrição:

- Marca: Genebre
- Material: Inox com glicerina
- Densidade: 63mm
- Conexão: Rosca macho NPT 1/4"
- Capacidade: 0 – 10 Bar / 0 – 150 PSI

**Figura 22 – Manômetro utilizado para certificação e calibração da precisão do sensor de pressão MPX5700DP**



**Fonte:** Autor, 2015.

Para realização do monitoramento e coleta dos dados de pressão, temperatura e RSSI, foi adotada uma análise com duração de 24 horas em cada ponto.

Todos os pontos de monitoramento foram geograficamente escolhidos com intuito de verificar as condições do abastecimento de água no bairro Penha II.

#### 4.5 CUSTOS DO PROTÓTIPO

O protótipo foi dividido em 2 módulos com custos distintos de montagem devido principalmente as características de cada módulo.

O módulo base foi composto por um transceptor BE900 e um circuito intermediador modelo UART, uma antena, uma caixa de proteção e um cabo de conexão tipo USB.

Para o módulo sensor foi desenvolvido um circuito eletrônico para acomodar outro transceptor BE900, um sensor de temperatura e um sensor de pressão. Este circuito foi alojado em uma caixa de proteção e inserido uma antena para comunicação entre os módulos. Para a montagem do circuito foi necessário a aquisição de vários componentes eletrônicos e acessórios auxiliares tanto para o funcionamento do circuito quanto para interligação com o transceptor e sensores.

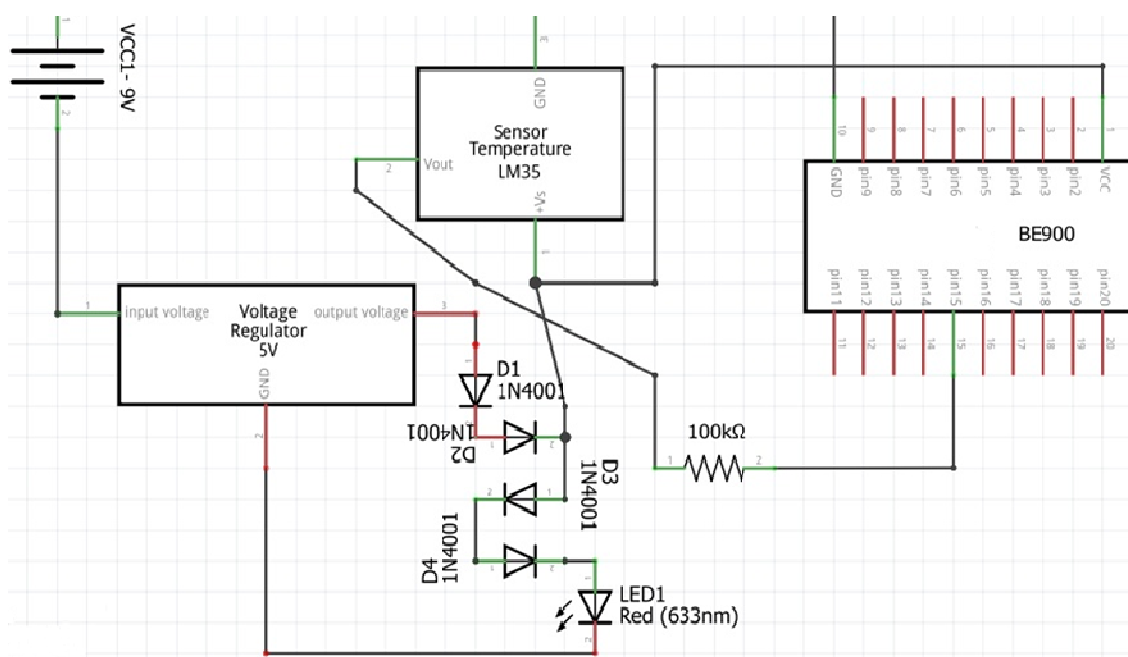
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através do desenvolvimento do circuito eletrônico, da montagem do protótipo, desenvolvimento e integração do *software* ao sistema ScadaBR, dos testes realizados em campo e os custos do protótipo para o mercado.

### 5.1 DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

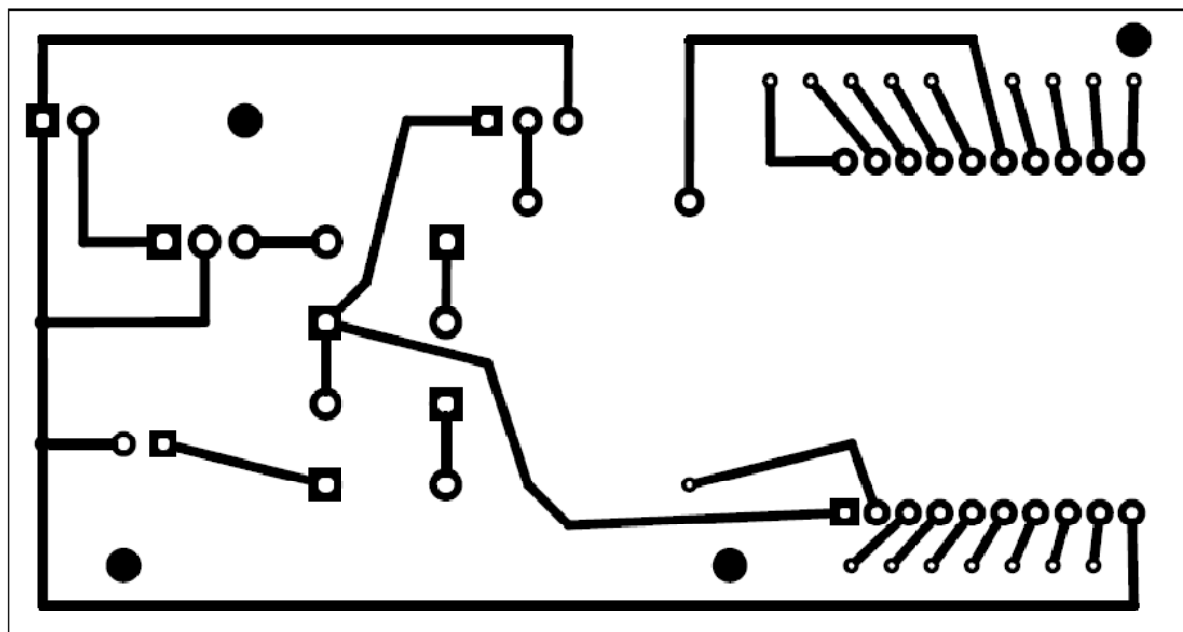
O circuito montado no *proto board* apresentou funcionamento satisfatório motivando a confecção de uma placa de circuito impresso. Para o desenho do circuito eletrônico foi utilizado o *software fritzing* ([fritzing.org](http://fritzing.org)) sendo criado um esquema elétrico baseado na montagem do *proto board* (Figura 23) e o circuito impresso com a disposição das trilhas de condução, furos e locais para soldagem dos componentes pode ser acompanhadas através das Figuras 24 e 25.

Figura 23 - Esquema elétrico do módulo sensor



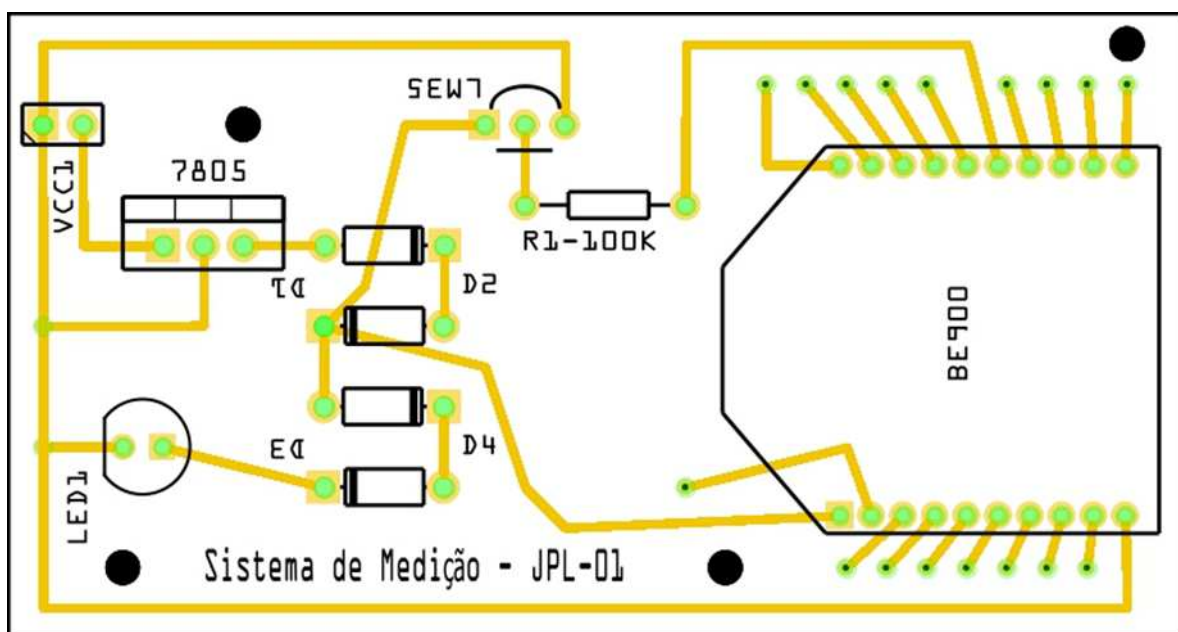
Fonte: Autor, 2014.

Figura 24 – Desenho da placa do circuito eletrônico do módulo sensor



Fonte: Autor, 2014.

Figura 25 – Posição dos componentes para soldagem

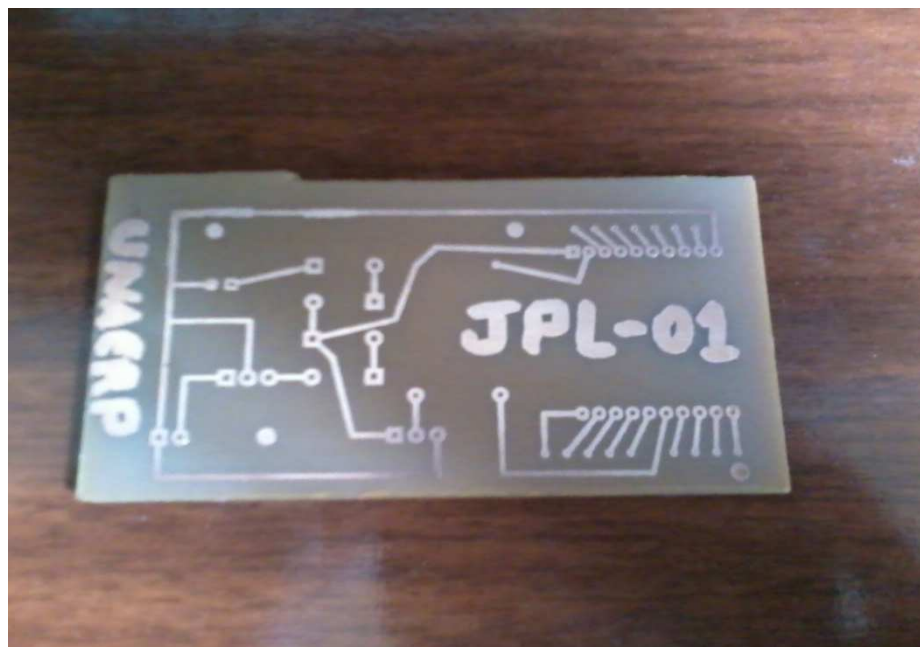


Fonte: Autor, 2014.

Para criar a placa do circuito e disponibilizá-la para soldagem foi necessário imprimir o desenho da placa em papel *transfer* e aplicar sobre um pedaço de placa de fenolite, em seguida foi necessário mergulhar o fenolite em uma solução de perclorato de ferro para

corroer a placa. Este tipo de corrosão ocorre somente na superfície da placa onde não existe desenho, e o resultado pode ser conferido através da Figura 26.

**Figura 26 – Placa pronta para soldagem dos componentes**

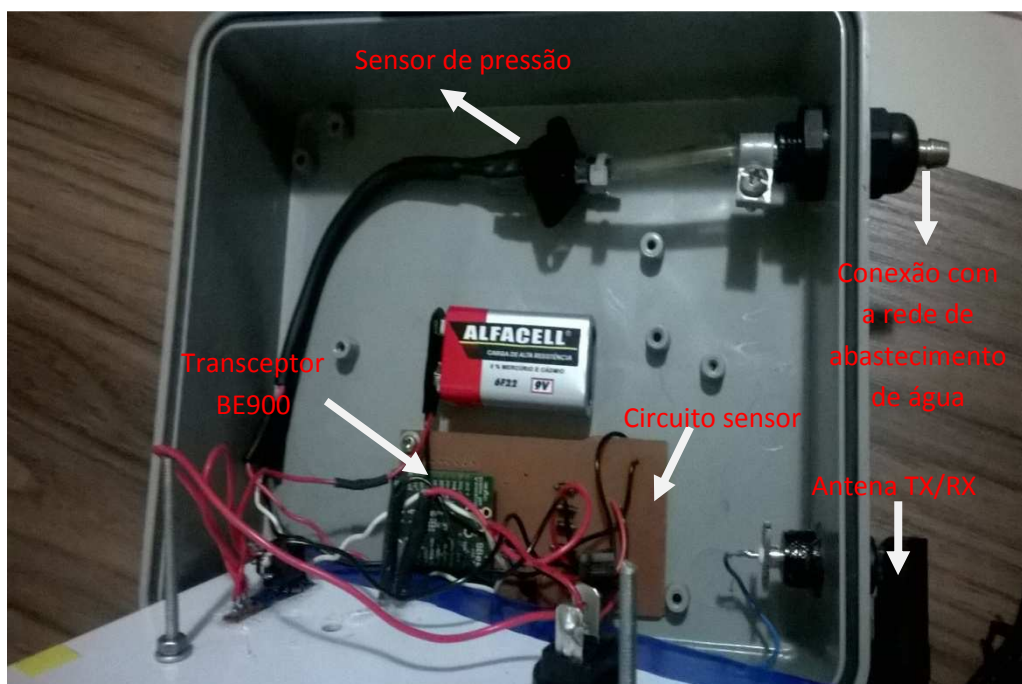


**Fonte:** Autor, 2014.

Os furos para inserção dos componentes foram feitos manualmente com ajuda de um furador específico para placas de circuito, e para o processo de soldagem utilizou-se uma estação de solda e ferramentas diversas.

## 5.2 MONTAGEM E CALIBRAÇÃO DO PROTÓTIPO

Através da Figura 27 é possível observar que o sensor MPX 5700 (pressão) foi conectado por um lado ao circuito eletrônico e, por outro, com a porta P1 ligada a uma conexão de engate rápido para o lado externo da caixa. Esta conexão foi feita através de uma passagem do tipo prensa que impede a entrada de líquidos, e em seu interior, com apoio de abraçadeiras para o não vazamento de água. O sensor de temperatura (LM35) foi soldado diretamente na placa de circuito com objetivo específico de monitorar a temperatura interna do protótipo.

**Figura 27 – Montagem interior do protótipo**

Fonte: Autor, 2015.

Para calibração dos sensores adotou-se 1 minuto como tempo de atualização do supervisor em relação aos dados capturados. Esta configuração foi feita diretamente no sistema do supervisor e as transmissões entre base e sensor ocorreram a cada 50ms.

Nesta tentativa de calibração inicial foi observado o sucesso na conexão entre base e sensor através do recebimento das informações referentes à temperatura e RSSI, mas houve uma tentativa frustrada em relação à obtenção dos dados sobre a pressão. A Figura 28 apresenta um primeiro cenário de calibração dos sensores. Neste cenário foi utilizado um galão de 20L de água com objetivo de provocar uma alteração no sensor MPX 5700 que pudesse mostrar um valor de pressão apontando que o valor é real e reflete as condições impostas.

**Figura 28 – Cenário inicial de calibração dos sensores em bancada**



**Fonte:** Autor, 2015.

Porém o valor capturado nesta condição foi de 0,0035 mca, não sendo muito conclusivo para garantir que o sensor atenda a uma demanda real de um sistema de abastecimento de água.

Com o objetivo de calibrar corretamente o sensor para o monitoramento real da pressão, foi adotado um 2º cenário para verificar as condições de captura de dados pelo sensor em um ramal predial. Desta forma, o sensor de pressão foi acoplado a uma torneira logo após um hidrômetro, para tanto, foi necessário adaptar conexões (Figura 29) de forma a reduzir de 3/4” para 1/8” e compatibilizar com a mangueira acoplada ao sensor, conforme demonstrado pela Figura 30.

**Figura 29 – Conexões para redução ao diâmetro do sensor de pressão**



**Fonte:** Autor, 2015.



**Figura 30 – Adaptação para sensor de pressão**

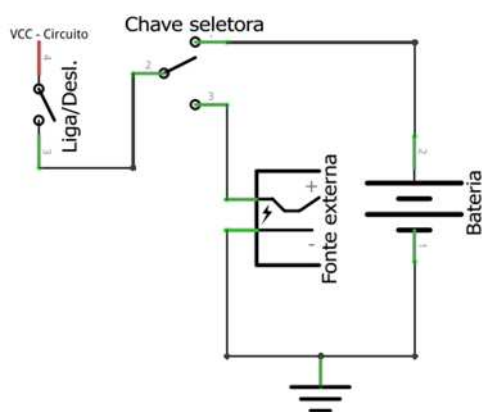


Fonte: Autor, 2015.

Então neste 2º cenário obteve-se um valor de pressão inicial de 14,12 mca e variando entre 11,53 e 17,84 mca em um período de aproximadamente 2h30min de testes e calibração do protótipo.

Neste período de teste e calibração do 2º cenário foi observado outro problema relacionado ao uso de bateria de carbono zinco (9V) que tem durabilidade muito baixa, não sendo satisfatória para o projeto, portanto, foi necessário adicionar um circuito com interruptor para chavear entre bateria e fonte de alimentação (Figura 31), e substituir a bateria de 9V (carbono zinco) por 3 baterias (3V) de *lithium*, em série. Com este circuito o operador do protótipo pode optar em usar a rede elétrica (através de uma fonte de 9V) quando disponível, ou a bateria para locais adversos e de acordo com a necessidade.

**Figura 31 – Circuito chaveador para bateria/fonte**

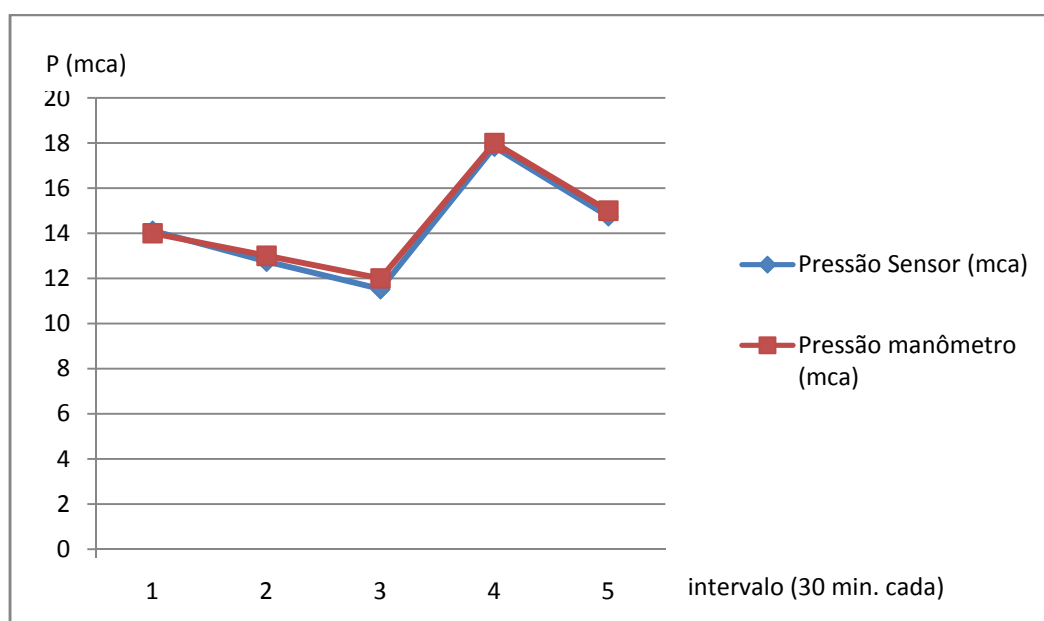


Fonte: Autor, 2015.



Com a intenção de certificar que os dados são coerentes e garantir que o sensor atenda com precisão na coleta dos dados, foi introduzido um manômetro para teste simultâneo neste cenário obtendo um resultado comparativo conforme demonstrado pela Figura 32. Através desta calibração foi possível verificar que o sensor de pressão apresenta dados coerentes e confiáveis, e que pode apresentar erro máximo de até 2,5 %, de acordo com o que estabelece o *datasheet* do MPX5700. Cada instante de monitoramento ocorreu no intervalo de 30 minutos.

**Figura 32 – Resultados obtidos com a calibração do sensor e certificados com o manômetro**

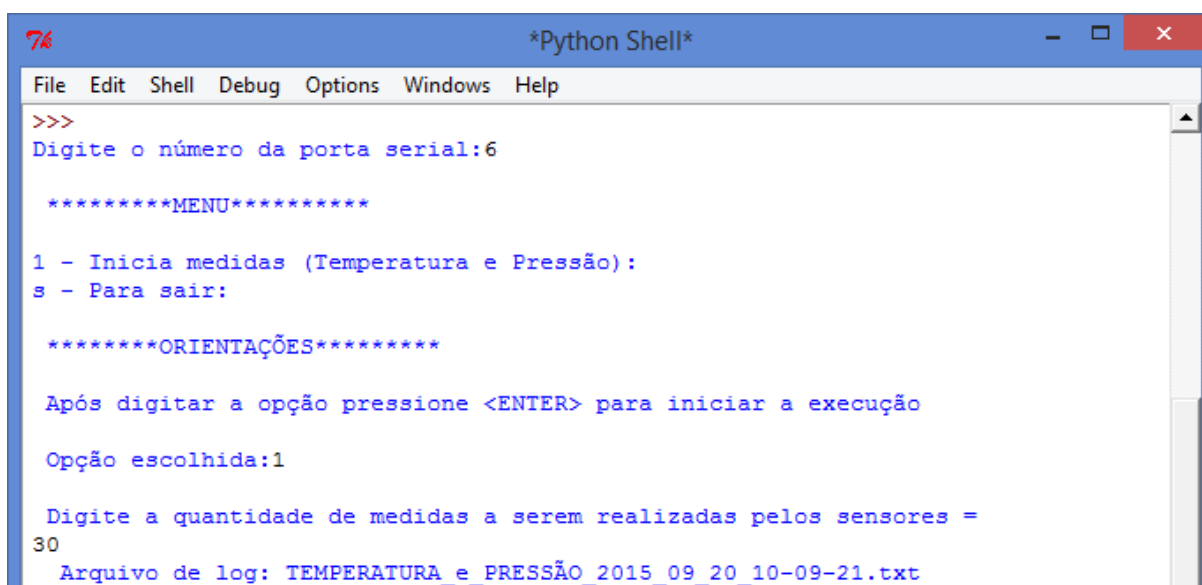


Fonte: Autor, 2015.

### 5.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE E A INTEGRAÇÃO AO SISTEMA DE SUPERVISÃO

O *software* desenvolvido (Apêndice B) não apresenta uma interface gráfica amigável para o usuário ou administrador da rede, e este não é o objetivo, visto que há uma interação com o sistema supervisorio para este fim. A Figura 33 apresenta o *software* em execução, com um menu de opções intuitivo, que possibilita o início da captura dos dados através de poucas informações solicitadas para o usuário ou administrador.

Figura 33 – Tela do menu desenvolvido em Python



```
*Python Shell*
File Edit Shell Debug Options Windows Help
>>>
Digite o número da porta serial:6

*****MENU*****

1 - Inicia medidas (Temperatura e Pressão):
s - Para sair:

*****ORIENTAÇÕES*****

Após digitar a opção pressione <ENTER> para iniciar a execução

Opção escolhida:1

Digite a quantidade de medidas a serem realizadas pelos sensores =
30
Arquivo de log: TEMPERATURA_e_PRESSÃO_2015_09_20_10-09-21.txt
```

Fonte: Autor, 2015.

Este *software* foi elaborado com objetivo principal de monitorar os dados de pressão e temperatura para o caso de uma falha do sistema supervisório ScadaBR. Também é possível utilizar este código em *smartphone* ou *tablet* com sistema operacional Android, bastando apenas baixar o QPython e rodar o código, tornando-se um grande diferencial ao protótipo para análise e pesquisas de campo sem a necessidade de interação com o sistema supervisório.

Além destas opções, o *software* foi projetado para criar um arquivo de *log* no computador para armazenamento dos dados de temperatura e pressão de forma redundante a fim de evitar falhas e para manter o registro das informações confiável e utilizável. A Figura 34 apresenta o arquivo de *log* gerado pelo *software*.

Figura 34 – Arquivo de log gerado pelo software de monitoramento

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
Sun Sep 20 10:09:21 2015	1	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:25 2015	2	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:28 2015	3	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:32 2015	4	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:35 2015	5	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:38 2015	6	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:42 2015	7	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:45 2015	8	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:49 2015	9	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:52 2015	10	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:55 2015	11	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:09:59 2015	12	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:10:02 2015	13	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:10:06 2015	14	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:10:09 2015	15	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:10:12 2015	16	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:10:16 2015	17	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	
Sun Sep 20 10:10:19 2015	18	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	
Sun Sep 20 10:10:23 2015	19	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	
Sun Sep 20 10:10:26 2015	20	Temperatura = 24.1875	Pressão = 11.67	
Sun Sep 20 10:10:29 2015	21	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	
Sun Sep 20 10:10:33 2015	22	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	
Sun Sep 20 10:10:36 2015	23	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	
Sun Sep 20 10:10:39 2015	24	Temperatura = 24.51	Pressão = 11.8256	

Fonte: Autor, 2015.

A interação com o supervisor ocorre a partir da configuração dos *data points* no sistema ScadaBR, e o protótipo então passa a gerar os dados coletados pelos sensores. Estes dados são divulgados em tempo real e ficam armazenados em banco de dados do sistema por tempo configurável pelo administrador de forma a estar disponível para análise a qualquer momento. A Figura 35 apresenta os dados em tempo real usando uma *watch list* sem a necessidade de atualização do *browser*.

Figura 35 – Watch list dos dados em tempo real

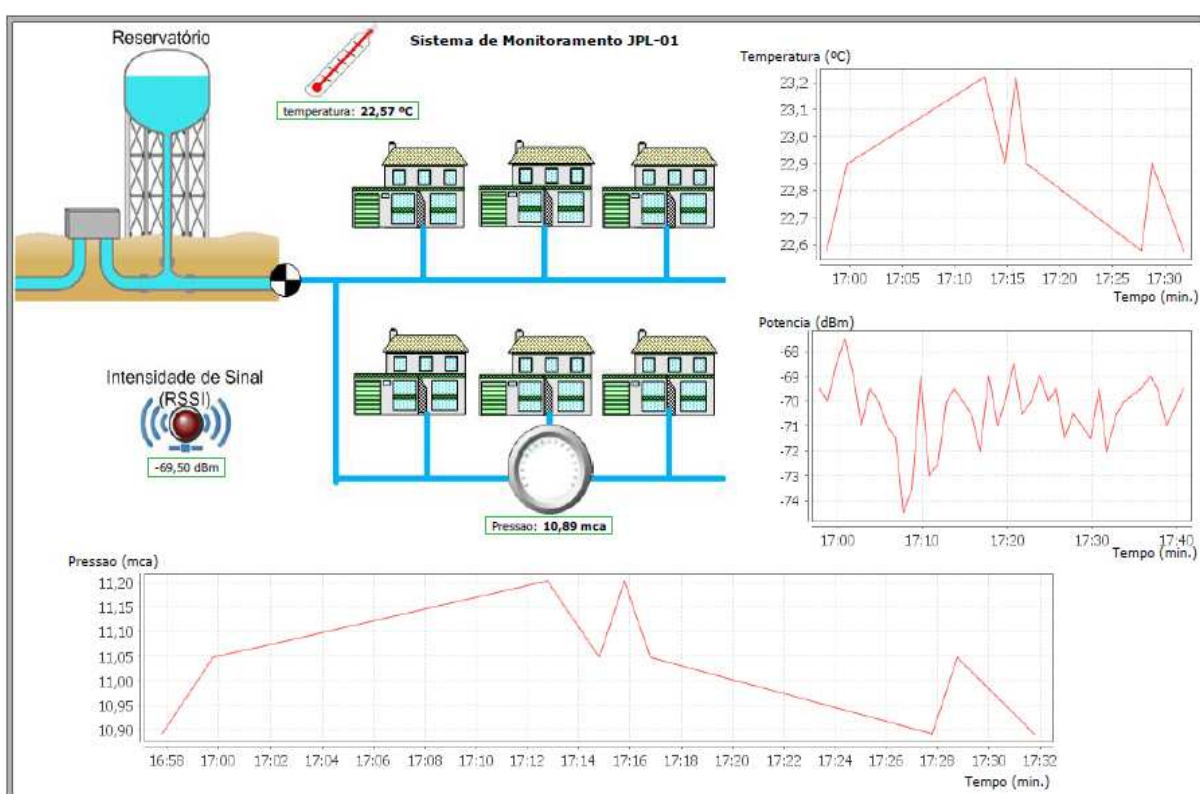
Points	Watch list
JPL01 - Pressao	10,89 mca
JPL01 - temperatura	22,57 °C
JPL01 - RSSI	-69,50 dBm

Fonte: Autor, 2015.

Além de armazenar os dados, o sistema permite a visualização de gráficos, envio de relatórios por *e-mail* e a configuração de alarmes em caso de algum evento ocorrer fora do programado.

O sistema também permite ao administrador inserir uma imagem do ambiente monitorado tornando um visual mais amigável para o controle e gerenciamento dos dados coletados. A Figura 36 demonstra a representação gráfica que foi criada como painel de monitoramento das grandezas medidas neste projeto.

**Figura 36 – Painel de monitoramento**



Fonte: Autor, 2015.

#### 5.4 REALIZAÇÃO DOS TESTES EM CAMPO

Para os testes em campo, o supervisor ScadaBR foi ajustado para atualizar os dados a cada 30 minutos, e em todos os pontos de coleta, o protótipo executou o monitoramento por 24 horas ininterruptas. Para cada ponto foram coletados os dados de pressão, temperatura e RSSI com envio de relatório por *E-mail*.

A Figura 37 apresenta uma vista aérea do posicionamento geográfico dos pontos analisados no bairro Penha II em Passos/MG, sendo o IFSULDEMINAS – Campus Passos, o ponto central.

**Figura 37 – Pontos de monitoramento e análise de dados da pressão da água no Bairro Penha II em Passos/MG**



**Fonte:** Autor, 2015. Gerado a partir de imagens do *Google Maps* (<https://www.google.com.br/maps/@-20.7149662,-46.6248312,815m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>). Acesso em: 17/01/2015.

Onde:

- Ponto 1: localizado à Rua Barbacena. Para este ponto foi enviado um relatório de estatísticas conforme demonstrado no Apêndice C;
- Ponto 2: localizado à Rua Mário Ribola (IFSULDEMINAS – Campus Passos). Para este ponto foi enviado relatório de estatísticas conforme demonstrado no Apêndice D;
- Ponto 3: localizado à Av. da Penha, conforme relatório de estatísticas (Apêndice E) referente a este ponto de análise.

#### 5.4.1 Pressão no Ponto 1

A Tabela 7 apresenta os registros capturados pelo sensor de pressão no ponto 1 e enviados para a estação base. Com os dados obtidos foi possível observar que a pressão no período de 10:00 e 18:00 esteve próxima de 15 mca e em horários de pico no período da tarde ultrapassando os 15 mca. Durante a madrugada a pressão caiu ficando próximo dos 10 mca, o que é normal para um período com pouco consumo de água.

**Tabela 7 – Pressão no ponto 1**

<b>Nome do data point</b>	<b>Tempo</b>	<b>Valor Processado</b>
Pressão	16/06/2015 08:53	11,83 mca
Pressão	16/06/2015 09:23	11,20 mca
Pressão	16/06/2015 09:53	11,67 mca
Pressão	16/06/2015 10:23	14,00 mca
Pressão	16/06/2015 10:53	14,94 mca
Pressão	16/06/2015 11:23	15,87 mca
Pressão	16/06/2015 11:53	14,94 mca
Pressão	16/06/2015 12:23	16,18 mca
Pressão	16/06/2015 12:53	16,03 mca
Pressão	16/06/2015 13:23	15,56 mca
Pressão	16/06/2015 13:53	15,72 mca
Pressão	16/06/2015 14:23	16,96 mca
Pressão	16/06/2015 14:53	17,12 mca
Pressão	16/06/2015 15:23	16,80 mca
Pressão	16/06/2015 15:53	16,18 mca
Pressão	16/06/2015 16:53	15,25 mca
Pressão	16/06/2015 17:23	14,94 mca
Pressão	16/06/2015 18:23	14,32 mca
Pressão	16/06/2015 18:53	13,54 mca
Pressão	16/06/2015 19:23	12,91 mca
Pressão	16/06/2015 19:53	12,45 mca
Pressão	16/06/2015 20:23	11,83 mca
Pressão	16/06/2015 20:53	11,67 mca
Pressão	16/06/2015 21:23	11,20 mca
Pressão	16/06/2015 21:53	11,36 mca
Pressão	16/06/2015 22:23	11,20 mca
Pressão	16/06/2015 22:53	10,89 mca
Pressão	16/06/2015 23:23	10,74 mca
Pressão	17/06/2015 00:53	10,43 mca
Pressão	17/06/2015 03:23	10,11 mca

Continuação



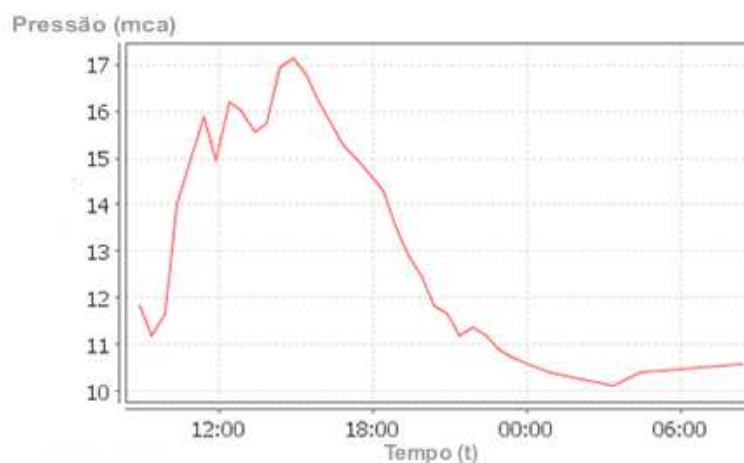
**Tabela 7 – Pressão no ponto 1**

Pressão	17/06/2015 03:53	10,27 mca
Pressão	17/06/2015 04:23	10,43 mca
Pressão	17/06/2015 08:23	10,58 mca

Fonte: Autor, 2015.

No período diurno a pressão subiu atingindo um pico de 17,12 mca e entre o período noturno e a madrugada ela caiu, obtendo um valor mínimo registrado de 10,11 mca, conforme apresentado pela Figura 38.

No período de monitoramento foram feitos 33 registros de pressão obtendo uma média de 12,61 mca.

**Figura 38 – Pressão no ponto 1**

Fonte: Autor, 2015.

#### 5.4.2 Temperatura no Ponto 1

A Tabela 8 apresenta os registros capturados pelo sensor de temperatura (LM35) no ponto 1 e enviados para a estação base.

Os registros de temperatura são referentes a temperatura interna do protótipo e tem como objetivo garantir que o sensor de pressão encontra-se em um ambiente com temperatura dentro dos limites apontados em seu *datasheet* ( 0 a 85°C) de forma a garantir que os valores de pressão sejam confiáveis e precisos.

**Tabela 8 – Temperatura no ponto 1**

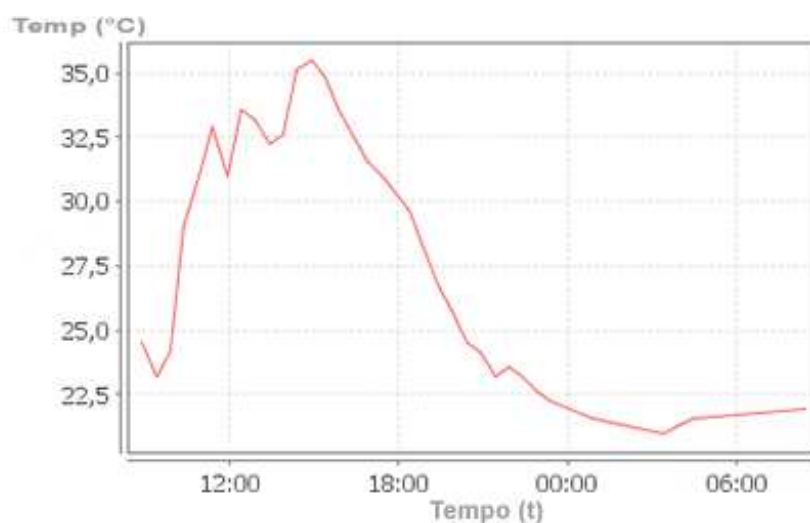
<b>Nome do data point</b>	<b>Tempo</b>	<b>Valor Processado</b>
Temperatura	16/06/2015 08:53	24,51 °C
Temperatura	16/06/2015 09:23	23,22 °C
Temperatura	16/06/2015 09:53	24,19 °C
Temperatura	16/06/2015 10:23	29,02 °C
Temperatura	16/06/2015 10:53	30,96 °C
Temperatura	16/06/2015 11:23	32,90 °C
Temperatura	16/06/2015 11:53	30,96 °C
Temperatura	16/06/2015 12:23	33,54 °C
Temperatura	16/06/2015 12:53	33,22 °C
Temperatura	16/06/2015 13:23	32,25 °C
Temperatura	16/06/2015 13:53	32,57 °C
Temperatura	16/06/2015 14:23	35,15 °C
Temperatura	16/06/2015 14:53	35,47 °C
Temperatura	16/06/2015 15:23	34,83 °C
Temperatura	16/06/2015 15:53	33,54 °C
Temperatura	16/06/2015 16:53	31,60 °C
Temperatura	16/06/2015 17:23	30,96 °C
Temperatura	16/06/2015 18:23	29,67 °C
Temperatura	16/06/2015 18:53	28,06 °C
Temperatura	16/06/2015 19:23	26,77 °C
Temperatura	16/06/2015 19:53	25,80 °C
Temperatura	16/06/2015 20:23	24,51 °C
Temperatura	16/06/2015 20:53	24,19 °C
Temperatura	16/06/2015 21:23	23,22 °C
Temperatura	16/06/2015 21:53	23,54 °C
Temperatura	16/06/2015 22:23	23,22 °C
Temperatura	16/06/2015 22:53	22,57 °C
Temperatura	16/06/2015 23:23	22,25 °C
Temperatura	17/06/2015 00:53	21,61 °C
Temperatura	17/06/2015 03:23	20,96 °C
Temperatura	17/06/2015 03:53	21,28 °C
Temperatura	17/06/2015 04:23	21,61 °C
Temperatura	17/06/2015 08:23	21,93 °C

**Fonte:** Autor, 2015.

A temperatura manteve-se estável e coerente com os períodos monitorados e sem variações bruscas, conforme demonstrado pela Figura 39.

No período de monitoramento foram feitos 33 registros de temperatura, com mínima de 20,96°C e máxima de 35,47°C, obtendo uma média de 26,14°C.



**Figura 39 – Temperatura no ponto 1**

Fonte: Autor, 2015.

#### 5.4.3 RSSI no Ponto 1

A Tabela 9 apresenta os registros capturados de intensidade de sinal entre base e sensor.

Neste ponto de monitoramento a distância entre base e sensor foi de aproximadamente 50 m e foram feitos 39 registros com uma média de -74,74 dBm.

**Tabela 9 – RSSI no ponto 1**

Nome do data point	Tempo	Valor Processado
RSSI	16/06/2015 08:53	-75,00 dBm
RSSI	16/06/2015 09:23	-75,50 dBm
RSSI	16/06/2015 09:53	-75,00 dBm
RSSI	16/06/2015 10:53	-75,50 dBm
RSSI	16/06/2015 12:23	-76,00 dBm
RSSI	16/06/2015 12:53	-75,00 dBm
RSSI	16/06/2015 13:23	-75,50 dBm
RSSI	16/06/2015 13:53	-75,00 dBm
RSSI	16/06/2015 14:53	-82,50 dBm
RSSI	16/06/2015 15:23	-70,50 dBm
RSSI	16/06/2015 15:53	-70,00 dBm
RSSI	16/06/2015 16:23	-71,00 dBm
RSSI	16/06/2015 16:53	-75,00 dBm

Continuação

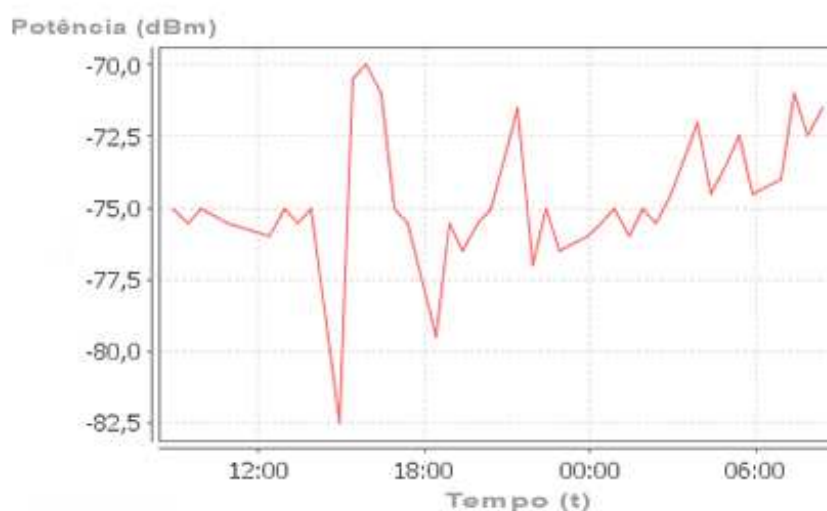
**Tabela 9– RSSI no ponto 1**

RSSI	16/06/2015 17:23	-75,50 dBm
RSSI	16/06/2015 18:23	-79,50 dBm
RSSI	16/06/2015 18:53	-75,50 dBm
RSSI	16/06/2015 19:23	-76,50 dBm
RSSI	16/06/2015 19:53	-75,50 dBm
RSSI	16/06/2015 20:23	-75,00 dBm
RSSI	16/06/2015 21:23	-71,50 dBm
RSSI	16/06/2015 21:53	-77,00 dBm
RSSI	16/06/2015 22:23	-75,00 dBm
RSSI	16/06/2015 22:53	-76,50 dBm
RSSI	16/06/2015 23:53	-76,00 dBm
RSSI	17/06/2015 00:23	-75,50 dBm
RSSI	17/06/2015 00:53	-75,00 dBm
RSSI	17/06/2015 01:23	-76,00 dBm
RSSI	17/06/2015 01:53	-75,00 dBm
RSSI	17/06/2015 02:23	-75,50 dBm
RSSI	17/06/2015 02:53	-74,50 dBm
RSSI	17/06/2015 03:53	-72,00 dBm
RSSI	17/06/2015 04:23	-74,50 dBm
RSSI	17/06/2015 04:53	-73,50 dBm
RSSI	17/06/2015 05:23	-72,50 dBm
RSSI	17/06/2015 05:53	-74,50 dBm
RSSI	17/06/2015 06:53	-74,00 dBm
RSSI	17/06/2015 07:23	-71,00 dBm
RSSI	17/06/2015 07:53	-72,50 dBm
RSSI	17/06/2015 08:23	-71,50 dBm

**Fonte:** Autor, 2015.

Através da Figura 40 é possível observar a variação da intensidade de sinal no período monitorado, com alguns momentos de pico mínimo de -82,50 dBm, provavelmente ocasionado por alguma obstrução ou interferência, porém sem prejuízos para a coleta dos dados de temperatura e pressão que demonstraram valores equilibrados e compatíveis com as variações de intensidade de sinal.

Figura 40 – RSSI no ponto 1



Fonte: Autor, 2015.

#### 5.4.4 Pressão no Ponto 2

A Tabela 10 apresenta os registros capturados pelo sensor de pressão no ponto 2 e enviados para a estação base. Com os dados obtidos pode-se dizer que houve uma queda de pressão a partir das 20h e durante a madrugada a pressão manteve-se próxima da pressão dinâmica mínima, de 10 mca, conforme estabelece a Norma Técnica NBR 12.218/94. Do final da manhã até o início da noite (horário de pico de consumo), a pressão voltou a subir registrando um pico de 16,65 mca, conforme demonstrado pela Figura 41.

No período de monitoramento foram feitos 33 registros de pressão obtendo uma média de 13,42 mca.

Tabela 10– Pressão no ponto 2

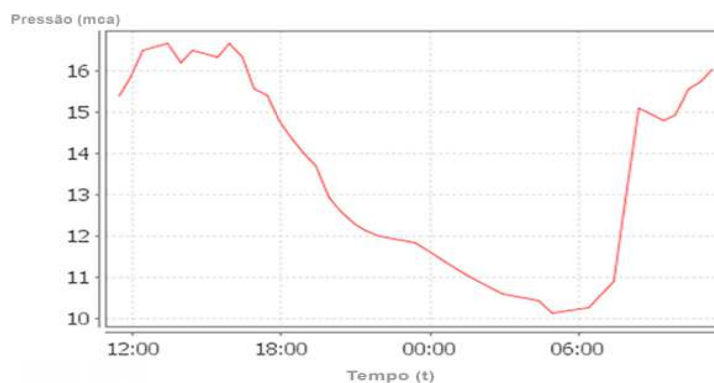
Nome do data point	Tempo	Valor Processado
Pressão	17/06/2015 11:25	15,40 mca
Pressão	17/06/2015 11:55	15,87 mca
Pressão	17/06/2015 12:25	16,49 mca
Pressão	17/06/2015 13:25	16,65 mca
Pressão	17/06/2015 13:55	16,18 mca
Pressão	17/06/2015 14:25	16,49 mca

Continuação

**Tabela 10 – Pressão no ponto 2**

Pressão	17/06/2015 15:25	16,34 mca
Pressão	17/06/2015 15:55	16,65 mca
Pressão	17/06/2015 16:25	16,34 mca
Pressão	17/06/2015 16:55	15,56 mca
Pressão	17/06/2015 17:25	15,40 mca
Pressão	17/06/2015 17:55	14,78 mca
Pressão	17/06/2015 18:25	14,32 mca
Pressão	17/06/2015 18:55	14,00 mca
Pressão	17/06/2015 19:25	13,69 mca
Pressão	17/06/2015 19:55	12,91 mca
Pressão	17/06/2015 20:25	12,60 mca
Pressão	17/06/2015 20:55	12,29 mca
Pressão	17/06/2015 21:25	12,14 mca
Pressão	17/06/2015 21:55	11,98 mca
Pressão	17/06/2015 23:25	11,83 mca
Pressão	18/06/2015 01:25	11,05 mca
Pressão	18/06/2015 02:55	10,58 mca
Pressão	18/06/2015 04:25	10,43 mca
Pressão	18/06/2015 04:55	10,11 mca
Pressão	18/06/2015 06:25	10,27 mca
Pressão	18/06/2015 07:25	10,89 mca
Pressão	18/06/2015 08:25	15,09 mca
Pressão	18/06/2015 09:25	14,78 mca
Pressão	18/06/2015 09:55	14,94 mca
Pressão	18/06/2015 10:25	15,56 mca
Pressão	18/06/2015 10:55	15,72 mca
Pressão	18/06/2015 11:25	16,03 mca

Fonte: Autor, 2015.

**Figura 41 – Pressão no ponto 2**

Fonte: Autor, 2015.

#### 5.4.5 Temperatura no Ponto 2

A Tabela 11 apresenta os registros capturados pelo sensor de temperatura no ponto 2 e enviados para a estação base.

A temperatura manteve-se em queda, mas estável na madrugada, o que é natural para a época do ano, e com um leve aumento no período diurno, mas nada que comprometa o monitoramento, conforme demonstrado pela Figura 42.

No período de monitoramento foram feitos 33 registros de temperatura, com mínima de 20,96°C e máxima de 34,51°C, obtendo uma média de 27,82°C.

**Tabela 11 – Temperatura no ponto 2**

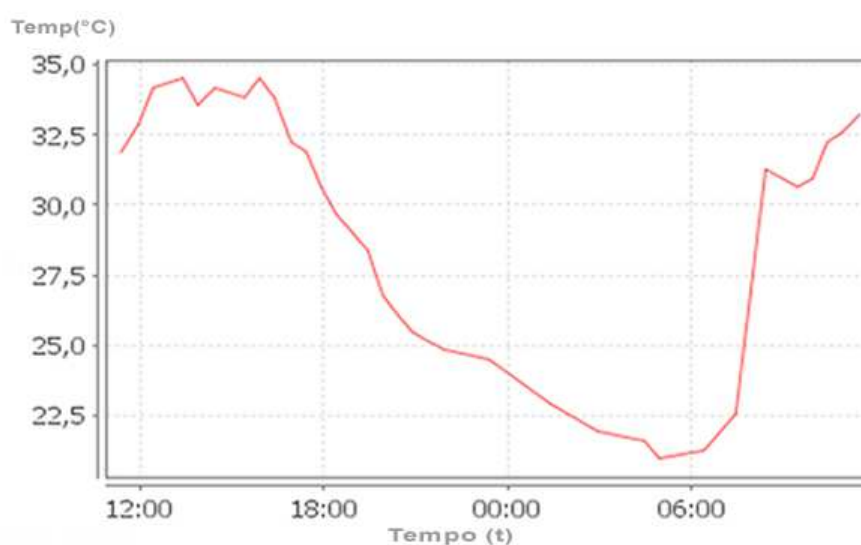
<b>Nome do data point</b>	<b>Tempo</b>	<b>Valor Processado</b>
Temperatura	17/06/2015 11:25	31,93 °C
Temperatura	17/06/2015 11:55	32,90 °C
Temperatura	17/06/2015 12:25	34,18 °C
Temperatura	17/06/2015 13:25	34,51 °C
Temperatura	17/06/2015 13:55	33,54 °C
Temperatura	17/06/2015 14:25	34,18 °C
Temperatura	17/06/2015 15:25	33,86 °C
Temperatura	17/06/2015 15:55	34,51 °C
Temperatura	17/06/2015 16:25	33,86 °C
Temperatura	17/06/2015 16:55	32,25 °C
Temperatura	17/06/2015 17:25	31,93 °C
Temperatura	17/06/2015 17:55	30,64 °C
Temperatura	17/06/2015 18:25	29,67 °C
Temperatura	17/06/2015 18:55	29,02 °C
Temperatura	17/06/2015 19:25	28,38 °C
Temperatura	17/06/2015 19:55	26,77 °C
Temperatura	17/06/2015 20:25	26,12 °C
Temperatura	17/06/2015 20:55	25,48 °C
Temperatura	17/06/2015 21:25	25,15 °C
Temperatura	17/06/2015 21:55	24,83 °C
Temperatura	17/06/2015 23:25	24,51 °C
Temperatura	18/06/2015 01:25	22,90 °C
Temperatura	18/06/2015 02:55	21,93 °C
Temperatura	18/06/2015 04:25	21,61 °C
Temperatura	18/06/2015 04:55	20,96 °C
Temperatura	18/06/2015 06:25	21,28 °C

Continuação

**Tabela 11 – Temperatura no ponto 2**

Temperatura	18/06/2015 07:25	22,57 °C
Temperatura	18/06/2015 08:25	31,28 °C
Temperatura	18/06/2015 09:25	30,64 °C
Temperatura	18/06/2015 09:55	30,96 °C
Temperatura	18/06/2015 10:25	32,25 °C
Temperatura	18/06/2015 10:55	32,57 °C
Temperatura	18/06/2015 11:25	33,22 °C

**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 42 – Temperatura no ponto 2**

**Fonte:** Autor, 2015.

#### 5.4.6 RSSI no Ponto 2

A Tabela 12 apresenta os registros capturados de intensidade de sinal entre base e sensor.

Neste ponto de monitoramento a distância entre base e sensor foi de aproximadamente 60 m e foram feitos 38 registros com uma média de -76,87 dBm.

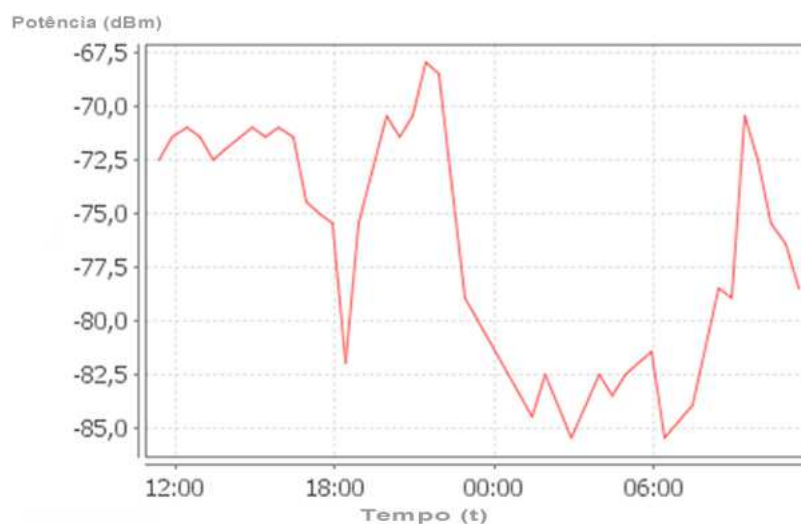
Através da Figura 43 foi possível observar a variação da intensidade de sinal no período monitorado, neste período a intensidade manteve-se estável e devido ao local não possuir obstáculos, ou seja, com uma boa visada entre as antenas transmissoras e receptoras, obteve-se um excelente nível de monitoramento com pico máximo de -68 dBm.

Tabela 12 – RSSI no ponto 2

Nome do data point	Tempo	Valor Processado
RSSI	17/06/2015 11:25	-72,50 dBm
RSSI	17/06/2015 11:55	-71,50 dBm
RSSI	17/06/2015 12:25	-71,00 dBm
RSSI	17/06/2015 12:55	-71,50 dBm
RSSI	17/06/2015 13:25	-72,50 dBm
RSSI	17/06/2015 13:55	-72,00 dBm
RSSI	17/06/2015 14:55	-71,00 dBm
RSSI	17/06/2015 15:25	-71,50 dBm
RSSI	17/06/2015 15:55	-71,00 dBm
RSSI	17/06/2015 16:25	-71,50 dBm
RSSI	17/06/2015 16:55	-74,50 dBm
RSSI	17/06/2015 17:25	-75,00 dBm
RSSI	17/06/2015 17:55	-75,50 dBm
RSSI	17/06/2015 18:25	-82,00 dBm
RSSI	17/06/2015 18:55	-75,50 dBm
RSSI	17/06/2015 19:55	-70,50 dBm
RSSI	17/06/2015 20:25	-71,50 dBm
RSSI	17/06/2015 20:55	-70,50 dBm
RSSI	17/06/2015 21:25	-68,00 dBm
RSSI	17/06/2015 21:55	-68,50 dBm
RSSI	17/06/2015 22:55	-79,00 dBm
RSSI	17/06/2015 23:25	-80,00 dBm
RSSI	18/06/2015 01:25	-84,50 dBm
RSSI	18/06/2015 01:55	-82,50 dBm
RSSI	18/06/2015 02:55	-85,50 dBm
RSSI	18/06/2015 03:55	-82,50 dBm
RSSI	18/06/2015 04:25	-83,50 dBm
RSSI	18/06/2015 04:55	-82,50 dBm
RSSI	18/06/2015 05:55	-81,50 dBm
RSSI	18/06/2015 06:25	-85,50 dBm
RSSI	18/06/2015 07:25	-84,00 dBm
RSSI	18/06/2015 08:25	-78,50 dBm
RSSI	18/06/2015 08:55	-79,00 dBm
RSSI	18/06/2015 09:25	-70,50 dBm
RSSI	18/06/2015 09:55	-72,50 dBm
RSSI	18/06/2015 10:25	-75,50 dBm
RSSI	18/06/2015 10:55	-76,50 dBm
RSSI	18/06/2015 11:25	-78,50 dBm

Fonte: Autor, 2015.

**Figura 43 – RSSI no ponto 2**



**Fonte:** Autor, 2015.

#### 5.4.7 Pressão no Ponto 3

A Tabela 13 apresenta os registros capturados pelo sensor de pressão no ponto 3 e enviados para a estação base. Com os dados obtidos pode-se dizer que houve uma queda de pressão a durante a madrugada, registrando um mínimo de 8,87 mca, o que é natural para o horário em que grande maioria da população está dormindo e as atividades econômicas praticamente inexistentes. Durante o dia a pressão voltou a subir registrando um pico de 17,74 mca, conforme demonstrado pela Figura 44.

No período de monitoramento foram feitos 31 registros de pressão obtendo uma média de 12,63 mca.

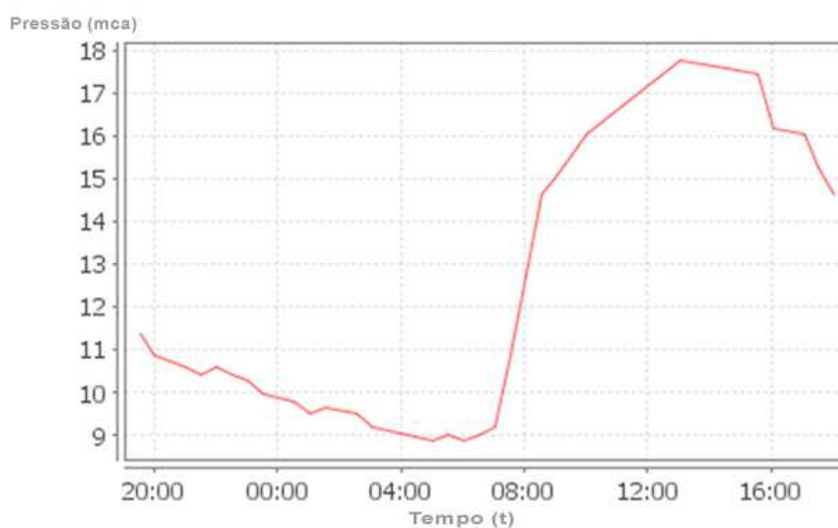
Observe que quando não há alteração de pressão, o sensor não envia novo evento para registro no sistema, como por exemplo, no horário compreendido entre 03h03min e 05h03min, período em que registrou uma pressão de 9,18 mca.



Tabela 13 – Pressão no ponto 3

Nome do data point	Tempo	Valor Processado
Pressão	22/06/2015 19:33	11,36 mca
Pressão	22/06/2015 20:03	10,89 mca
Pressão	22/06/2015 20:33	10,74 mca
Pressão	22/06/2015 21:03	10,58 mca
Pressão	22/06/2015 21:33	10,43 mca
Pressão	22/06/2015 22:03	10,58 mca
Pressão	22/06/2015 22:33	10,43 mca
Pressão	22/06/2015 23:03	10,27 mca
Pressão	22/06/2015 23:33	9,96 mca
Pressão	23/06/2015 00:33	9,80 mca
Pressão	23/06/2015 01:03	9,49 mca
Pressão	23/06/2015 01:33	9,65 mca
Pressão	23/06/2015 02:33	9,49 mca
Pressão	23/06/2015 03:03	9,18 mca
Pressão	23/06/2015 05:03	8,87 mca
Pressão	23/06/2015 05:33	9,02 mca
Pressão	23/06/2015 06:03	8,87 mca
Pressão	23/06/2015 06:33	9,02 mca
Pressão	23/06/2015 07:03	9,18 mca
Pressão	23/06/2015 07:33	10,89 mca
Pressão	23/06/2015 08:33	14,63 mca
Pressão	23/06/2015 09:03	15,09 mca
Pressão	23/06/2015 09:33	15,56 mca
Pressão	23/06/2015 10:03	16,03 mca
Pressão	23/06/2015 13:03	17,74 mca
Pressão	23/06/2015 14:33	17,58 mca
Pressão	23/06/2015 15:33	17,43 mca
Pressão	23/06/2015 16:03	16,18 mca
Pressão	23/06/2015 17:03	16,03 mca
Pressão	23/06/2015 17:33	15,25 mca
Pressão	23/06/2015 18:03	14,63 mca

Fonte: Autor, 2015.

**Figura 44 – Pressão no ponto 3**

**Fonte:** Autor, 2015.

#### 5.4.8 Temperatura no Ponto 3

A Tabela 14 apresenta os registros capturados pelo sensor de temperatura no ponto 3 e enviados para a estação base.

A temperatura manteve-se baixa e estável na madrugada e com um leve aumento a partir do início da manhã, mas nada que comprometesse o monitoramento, conforme demonstrado pela Figura 45.

No período de monitoramento foram feitos 31 registros de temperatura, com mínima de 18,38°C e máxima de 36,76°C, obtendo uma média de 26,18°C.

**Tabela 14 – Temperatura no ponto 3**

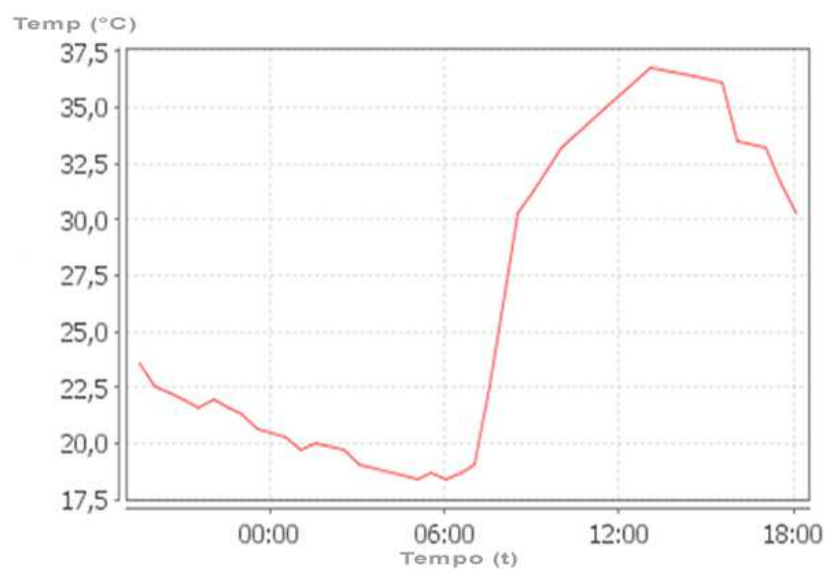
Nome do data point	Tempo	Valor Processado
Temperatura	22/06/2015 19:33	23,54 °C
Temperatura	22/06/2015 20:03	22,57 °C
Temperatura	22/06/2015 20:33	22,25 °C
Temperatura	22/06/2015 21:03	21,93 °C
Temperatura	22/06/2015 21:33	21,61 °C
Temperatura	22/06/2015 22:03	21,93 °C
Temperatura	22/06/2015 22:33	21,61 °C
Temperatura	22/06/2015 23:03	21,28 °C

Continuação

**Tabela 14 – Temperatura no ponto 3**

Temperatura	22/06/2015 23:33	20,64 °C
Temperatura	23/06/2015 00:33	20,32 °C
Temperatura	23/06/2015 01:03	19,67 °C
Temperatura	23/06/2015 01:33	19,99 °C
Temperatura	23/06/2015 02:33	19,67 °C
Temperatura	23/06/2015 03:03	19,03 °C
Temperatura	23/06/2015 05:03	18,38 °C
Temperatura	23/06/2015 05:33	18,70 °C
Temperatura	23/06/2015 06:03	18,38 °C
Temperatura	23/06/2015 06:33	18,70 °C
Temperatura	23/06/2015 07:03	19,03 °C
Temperatura	23/06/2015 07:33	22,57 °C
Temperatura	23/06/2015 08:33	30,31 °C
Temperatura	23/06/2015 09:03	31,28 °C
Temperatura	23/06/2015 09:33	32,25 °C
Temperatura	23/06/2015 10:03	33,22 °C
Temperatura	23/06/2015 13:03	36,76 °C
Temperatura	23/06/2015 14:33	36,44 °C
Temperatura	23/06/2015 15:33	36,12 °C
Temperatura	23/06/2015 16:03	33,54 °C
Temperatura	23/06/2015 17:03	33,22 °C
Temperatura	23/06/2015 17:33	31,60 °C
Temperatura	23/06/2015 18:03	30,31 °C

**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 45 – Temperatura no ponto 3**

**Fonte:** Autor, 2015.

#### 5.4.9 RSSI no Ponto 3

A Tabela 15 apresenta os registros capturados de intensidade de sinal entre base e sensor.

Neste ponto de monitoramento a distância entre base e sensor foi de aproximadamente 50 m e foram feitos 35 registros com uma média de -77,19 dBm.

Através da Figura 46 é possível observar a variação da intensidade de sinal no período monitorado, neste período a intensidade manteve-se estável e da mesma forma que ocorreu no ponto 2, o local utilizado para captura dos dados no ponto 3 não possuía obstáculos também, dessa forma obteve-se um excelente nível de monitoramento com pico máximo de -68,50 dBm.

**Tabela 15 – RSSI no ponto 3**

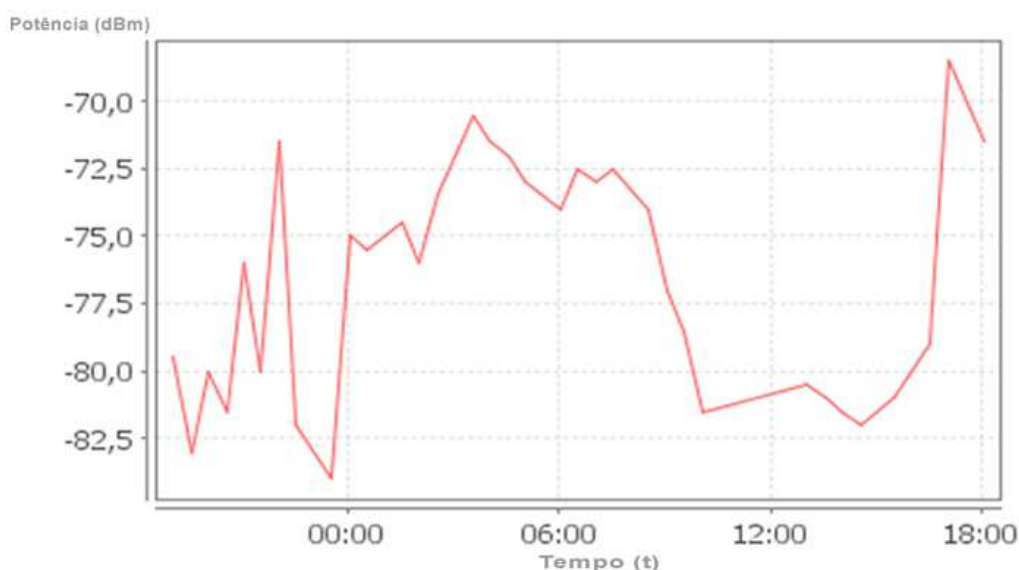
<b>Nome do data point</b>	<b>Tempo</b>	<b>Valor Processado</b>
RSSI	22/06/2015 19:03	-79,50 dBm
RSSI	22/06/2015 19:33	-83,00 dBm
RSSI	22/06/2015 20:03	-80,00 dBm
RSSI	22/06/2015 20:33	-81,50 dBm
RSSI	22/06/2015 21:03	-76,00 dBm
RSSI	22/06/2015 21:33	-80,00 dBm
RSSI	22/06/2015 22:03	-71,50 dBm
RSSI	22/06/2015 22:33	-82,00 dBm
RSSI	22/06/2015 23:33	-84,00 dBm
RSSI	23/06/2015 00:03	-75,00 dBm
RSSI	23/06/2015 00:33	-75,50 dBm
RSSI	23/06/2015 01:03	-75,00 dBm
RSSI	23/06/2015 01:33	-74,50 dBm
RSSI	23/06/2015 02:03	-76,00 dBm
RSSI	23/06/2015 02:33	-73,50 dBm
RSSI	23/06/2015 03:33	-70,50 dBm
RSSI	23/06/2015 04:03	-71,50 dBm
RSSI	23/06/2015 04:33	-72,00 dBm
RSSI	23/06/2015 05:03	-73,00 dBm
RSSI	23/06/2015 06:03	-74,00 dBm
RSSI	23/06/2015 06:33	-72,50 dBm
RSSI	23/06/2015 07:03	-73,00 dBm
RSSI	23/06/2015 07:33	-72,50 dBm
RSSI	23/06/2015 08:33	-74,00 dBm

Continuação

**Tabela 15 – RSSI no ponto 3**

RSSI	23/06/2015 09:03	-77,00 dBm
RSSI	23/06/2015 09:33	-78,50 dBm
RSSI	23/06/2015 10:03	-81,50 dBm
RSSI	23/06/2015 13:03	-80,50 dBm
RSSI	23/06/2015 13:33	-81,00 dBm
RSSI	23/06/2015 14:03	-81,50 dBm
RSSI	23/06/2015 14:33	-82,00 dBm
RSSI	23/06/2015 15:33	-81,00 dBm
RSSI	23/06/2015 16:33	-79,00 dBm
RSSI	23/06/2015 17:03	-68,50 dBm
RSSI	23/06/2015 18:03	-71,50 dBm

Fonte: Autor, 2015.

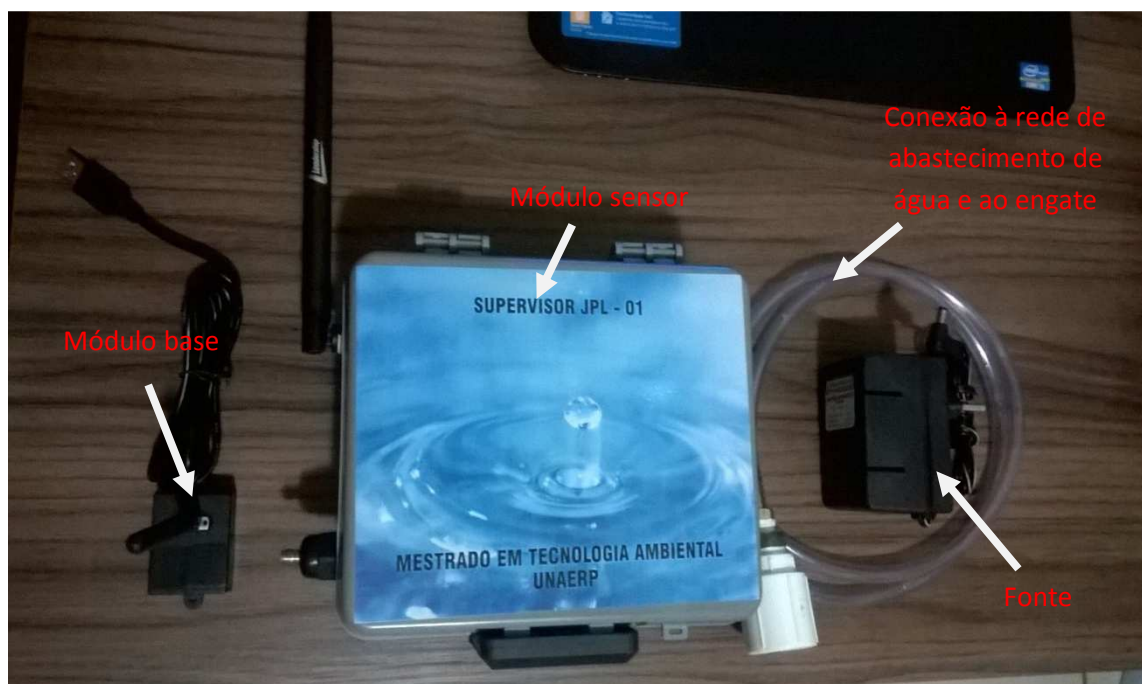
**Figura 46 – RSSI no ponto 3**

Fonte: Autor, 2015.

## 5.5 CUSTOS FINAIS DO DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Todos os componentes eletrônicos, sensores e transceptores são facilmente encontrados no mercado nacional e podem ser adquiridos em sites de comércio eletrônico voltados a automação e robótica.

Os custos finais foram baseados no desenvolvimento de um kit completo do protótipo contendo o módulo base, o módulo sensor, fonte de alimentação e adaptador de engate ao módulo sensor, conforme apresentado na Figura 47.

**Figura 47 – Kit completo do protótipo (base e sensor)**

**Fonte:** Autor, 2015.

O módulo base não envolveu o desenvolvimento de circuito eletrônico e desta forma os custos são concentrados em dispositivos e acessórios existentes no mercado nacional e com custos determinados pelos fabricantes e fornecedores.

Entretanto, o módulo sensor demandou um custo maior por envolver a aquisição de vários componentes eletrônicos para a montagem do circuito eletrônico de controle dos sensores.

Os fretes aplicados na aquisição de alguns itens foram incluídos nos custos, porém os custos de BDI e de desenvolvimento para elaboração e montagem do circuito, soldagem, configuração e programação não foram inclusas por fazer parte da pesquisa. Para efeito de consideração aos valores levantados no custo do protótipo é importante considerar a cotação referência base do dólar que estava em R\$ 2,53 (novembro/2014), período em que os componentes e peças foram adquiridos. A Tabela 16 apresenta os custos finais envolvidos no desenvolvimento do protótipo.

Tabela 16 – Levantamento dos custos de desenvolvimento do protótipo

<b>MÓDULO BASE</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANT.</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Transceptor BE 900	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Caixa plástica para a base	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
Programador Uart e cabo USB (acompanha transceptor)	1	R\$ -	R\$ -
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 104,00</b>
<b>MÓDULO SENSOR</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANT.</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Transceptor BE 900	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Sensor MPX 5700	1	R\$ 104,00	R\$ 104,00
Sensor de temperatura - LM 35	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
Caixa hermética para o circuito sensor	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Antena wireless 7 dBi	1	R\$ 28,00	R\$ 28,00
Componentes eletrônicos (todos)	-	-	R\$ 18,00
Placa de circuito (fenolite)	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Placa de PVC	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
Botão liga/desliga	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
Chave seletiva (fonte/bateria)	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Bateria CR2032 vertical 3V – <i>lithium</i>	3	R\$ 3,00	R\$ 9,00
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 311,50</b>
<b>PEÇAS E ACESSÓRIOS INTEGRANTES DO KIT DO PROTÓTIPO</b>			
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>QUANT.</b>	<b>VALOR UNIT.</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Outros (parafusos, mangueira, cola, fios e cabos)	-	-	R\$ 25,00
Fonte de alimentação de 9V/800mA	1	R\$ 24,00	R\$ 24,00
Conexões e redutores para testes em campo	-	-	R\$ 40,00
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 89,00</b>
<b>TOTAL GERAL DO KIT PROTÓTIPO</b>			<b>R\$ 504,50</b>

Fonte: Autor, 2015.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta de protótipo de baixo custo para monitoramento e aquisição de dados de pressão em sistemas de abastecimento de água e concluiu-se que:

- No desenvolvimento do circuito eletrônico, os componentes envolvidos para o kit (base e sensor) apresentam custos relativamente baixos e de fácil obtenção no mercado, onde o módulo base possui um custo de R\$ 104,00, o módulo sensor possui um custo de R\$ 311,50 e demais itens R\$ 89,00, totalizando em R\$ 504,50 o valor final do kit protótipo. A elaboração do circuito foi realizada toda em laboratório e bancada com utilização de *softwares* livres.

- A montagem do protótipo também foi realizada toda em bancada. A estrutura da caixa hermética demonstrou robustez para atuar em ambientes de exposição à incidência solar direta, umidade e temperaturas variáveis, não comprometendo o circuito eletrônico. A antena disponibilizada do lado externo da caixa aumentou o ganho de TX/RX possibilitando uma estabilidade de comunicação entre base e sensor a diferentes distâncias, e sem ocorrência de perda de informação.

- O *software* desenvolvido permitiu a captação dos dados de forma satisfatória principalmente em locais com ausência de conexão à rede. Em contrapartida, o supervisório ScadaBR, desempenhou satisfatoriamente o tratamento, visualização e disponibilização dos dados, principalmente através da *Internet* em tempo real. A grande vantagem da integração do sistema de supervisão remota ao protótipo foi a disponibilização dos dados de forma imediata e contínua pelo painel de visualização ou através de envio de *e-mail* e disponibilização de gráficos e planilhas mantendo um registro confiável do comportamento das pressões na rede ao longo de um período. Para complementar a aplicação foi projetado um arquivamento dos dados em um *log*, com a função de *datalogger*, de forma a manter os dados salvos em arquivo para análise posterior, sendo uma coleta redundante em caso de falhas do supervisório.

- Os testes em campo foram satisfatórios e a coleta dos dados serviu de base para analisar a situação da rede no bairro Penha II em Passos. Com os dados obtidos nos pontos monitorados foi possível observar que nos horários de pico de consumo, a pressão se eleva e durante o período noturno com grande parte da população dormindo e as atividades econômicas praticamente inexistentes, a pressão cai. A pressão em sistemas de abastecimento de água é o parâmetro operacional mais importante na gerência de ocorrência de vazamentos e sua frequência, portanto, o controle da pressão torna-se o elemento mais importante na



estratégia de controle de perdas físicas. Para uma melhor representatividade é importante ampliar o número de pontos monitorados possibilitando uma maior gerência do comportamento das pressões em setores e zonas ao longo do tempo, mantendo um registro eletrônico preciso para tomadas de decisão da concessionária.

- O protótipo apresentou custos de montagem e implantação muito baixos (kit completo do protótipo foi de R\$ 504,50) se comparados com os equipamentos comercialmente utilizados pelas empresas de abastecimento e saneamento, que giram em torno de R\$ 4.000,00, como por exemplo, o *datalogger* modelo DMP-01-P comercializado pela empresa Lamon (<http://www.lamon.com.br/Produtos/detalhes/15/13/3>) que foi objeto de comparação para criação deste protótipo.

Este trabalho também contribuiu para o meio científico com a publicação de um artigo nos Anais do *Computer on the Beach* 2015, promovido pela UNIVALI, ocorrido em Florianópolis de 20 a 22 de março de 2015. E possui um artigo aceito para a 7ª Jornada Científica e Tecnológica e 4º Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 12.218/1994. **Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABI7cAG/nbr-12218-projeto-rede-distribuicao-agua-abastecimento-publico>>. Acesso em 18/11/2014.

BEGA, E. A. **Instrumentação industrial**. Editora Interciência. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.

BEZERRA, S. T. M. **Sistema Fuzzy para Controle Piezométrico de Sistemas de Distribuição de Água Visando à Economia de Água e Energia**. Tese de D.Sc., PPGEM, João Pessoa, PB, Brasil, 2009.

BRAGALLI, C., SACCHI, S. **Burst frequency and leakage related to pressure control in water distribution network**. In: Lemosos 2002: Leakage Management - A Practical Approach, Lemosos, Chipre, 2002.

BRESSANI, Fabrício. **Elaboração de procedimentos para redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento dos municípios**. Dissertação de Mestrado, UNAERP, 2011.

CYRIACO, F.Silveira. **Gerência de redes de sensores sem fio – uma abordagem com SNMP**. Dissertação de Mestrado, PUC-Campinas, 2011.

FONSECA, Fabrício Ramos da. **Modelo de sistema de automação aplicado à setorização de redes de abastecimento hídrico**. São Paulo, Tese de Doutorado, 2011.

FREESCALE. **MPX 5700**. Disponível em: <[http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MPX5700.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX5700.pdf)>. Acesso em 06/09/2014.

GIACOMIN, João C. et al. **Radio channel model of wireless sensor networks operating in 2.4 ghz ism band**. INFOCOMP Journal of Computer Science, v. 9, n. 1, p. 98-106, 2010.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-20.7149662,46.6248312,815m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>>. Acesso em: 17/01/2015.

HILL, Jason L. **System architecture for Wireless Sensor Networks**. University of California. Berkeley, Tese de Doutorado, 2003.

INDUSTRIAL NETWORKING. **Making Sense of Signal Strength/Signal Quality Readings for Cellular Modems**. Disponível em: <<http://blog.industrialnetworking.com/2014/04/making-sense-of-signal-strengthsignal.html>>. Acesso em: 15/06/2015.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Cidades não reduzem o desperdício de água**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/cidades-nao-reduzem-desperdicio-de-agua>>. Acesso em: 14/01/2015.

KUROSE, James F. ROSS, Keith W. **Redes de Computadores e a Internet**. São Paulo-SP: Pearson, 2006.

LAMBERT, A. **International Report on Water Loss Management and Techniques**. Water Supply, v. 2, n. 4, p. 1-20, 2002.

LOUREIRO, A. A. F., NOGUEIRA, J. M. S., RUIZ, L. B., DE FREITAS MINI, R. A., NAKAMURA, E. F., FIGUEIREDO, C. M. S. **Redes de sensores sem fio**. In Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, pag. 179 – 226, 2003.

LUQUETA, Gerson R. **Avaliação de rede de sensores sem fio para liberação paramétrica da esterilização por calor**. Dissertação de Mestrado, PUC-Campinas, 2012.

MOURA, Eulina M. de. DIAS, Isabelly C. S. SILVA, Jussara S. da. SILVA, Ferdinando C. da. **Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas**. In: IV SEREA – Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento. UFPB – João Pessoa – PB, 2004.

PORTARIA 2914/2011. **Padrão de potabilidade da água para consumo humano**.

Disponível em: <

[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em 18/11/2014.

PORTARIA 518/2004. **Procedimentos e responsabilidades no controle da qualidade da água para consumo humano**. Disponível em:

<<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>>. Acesso em: 18/11/2014.

PORTO, RODRIGO M. **Hidráulica Básica - 4ª Edição**, São Carlos, 2006.

RADIOIT. Disponível em: <<http://www.radioit.com.br/produtos/design-kits/dk102>>. Acesso em: 12/08/2014.

RADIUINO. Disponível em: <<http://www.radiuino.cc>>. Acesso em: 12/08/2014.

RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005. **Classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 18/11/2014.

RFC 2460. **Especificação do IPv6**. Disponível em: <<http://www.faqs.org/rfcs/rfc2460.html>>. Acesso em: 20/01/2015.

ROSSMAN, L. A. **Epanet 2.0 – Manual do Utilizador**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Lisboa/Portugal, 2002.

SCADABR. Disponível em: <<http://www.scadabr.com.br>>. Acesso em: 12/08/2014.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM 35**. Disponível em:

<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>>. Acesso em: 22/08/2014.

TSUTIYA, M. T., **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2006.

VINCIGUERA, Vagner. **Avaliação do impacto da redução de pressão nas perdas reais em setor de distribuição de água do município de Campo Grande – MS**. Dissertação de Mestrado, UFMS, 2009.

## APÊNDICE A – Aplicação (APP)

// APP : Classe da camada de Aplicação, modificado da Plataforma RADIUINO para uso no protótipo de monitoramento JPL01

// Mais informações sobre a versão original em [www.radiuino.cc](http://www.radiuino.cc)

// Modificado por: João Paulo de Toledo Gomes

// Data: 03/01/2015

// Este arquivo é parte da plataforma RADIUINO

// Este programa é um software livre; você pode redistribuí-lo e/ou modificá-lo dentro dos termos da Licença Pública Geral Menor GNU

// como publicada pela Fundação do Software Livre (FSF); na versão 2 da Licença, ou (na sua opinião) qualquer futura versão.

// Este programa é distribuído na esperança que possa ser útil, mas SEM NENHUMA GARANTIA; sem uma garantia implícita

// de ADEQUAÇÃO a qualquer MERCADO ou APLICAÇÃO EM PARTICULAR. Veja a Licença Pública Geral Menor GNU para maiores detalhes.

// Você deve ter recebido uma cópia da Licença Pública Geral Menor GNU junto com este programa, se não, escreva para a Fundação

// do Software Livre(FSF) Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

#include "Headers.h"

// Inicialização das variáveis de status dos IOs

boolean

IO0\_STATUS,IO1\_STATUS,IO2\_STATUS,IO3\_STATUS,IO4\_STATUS,IO5\_STATUS;

/\* Construtor da camada de Aplicação.\*/

APP::APP()

/\* Inicializa a camada de Aplicação.\*/

void APP::initialize(void)

{

// Faz com que todos os pinos de IO sejam saída

pinMode (IO0\_PIN, OUTPUT);

pinMode (IO1\_PIN, OUTPUT);

pinMode (IO2\_PIN, OUTPUT);

pinMode (IO3\_PIN, OUTPUT);

pinMode (IO4\_PIN, OUTPUT);

pinMode (IO5\_PIN, OUTPUT);

// Zera o Status de IOs

IO0\_STATUS=IO0\_IO1\_STATUS=IO2\_STATUS=IO3\_STATUS=IO4\_STATUS=IO5\_STATUS = false;

```

}

/*Envia o pacote para a camada inferior */

void APP::send(packet * pkt)
{
    return;
}

/*Recebe o pacote da camada inferior */

void APP::receive(packet * pkt)
{
    int AD0, AD1;

    // AD0 - pino 15 do BE900 – Sensor de Temperatura LM35

    AD0 = analogRead(AD0_PIN); // Valor de 0 a 1023 e será necessário dois bytes para
representar
    pkt->AD0[0] = 0; // Pode ser utilizado para indicar o tipo de sensor no byte 16
    pkt->AD0[1] = (byte) (AD0/256); // Valor inteiro no byte 17
    pkt->AD0[2] = (byte) (AD0%256); // Resto da divisão no byte 18
    // No computador para voltar no valor de 0 a 1023 deve ser feita a conta
Valor=Inteiro*256+Resto

    // AD1 - pino 13 do BE900 – Sensor de Pressão MPX5700DP

    AD1 = analogRead(AD1_PIN);
    pkt->AD1[0] = 1; // Pode ser utilizado para indicar o tipo de sensor o byte 19
    pkt->AD1[1] = (byte) (AD1/256); // Valor inteiro no byte 20
    pkt->AD1[2] = (byte) (AD1%256); // Resto da divisão no byte 21

    // TRANSMITE PACOTE
    Transp.send(pkt);

    return;
}

/* Instanciação do objeto de acesso à classe da camada de Aplicação */

APP App = APP();

```

## APÊNDICE B – *Software* elaborado para as funcionalidades do JPL-01

```

# Programa JPL-01 Monitoramento de pressão e temperatura em sistemas de abastecimento
de água com Rádiuino e ScadaBR
# Por: João Paulo de Toledo Gomes
# Mestrado em Tecnologia Ambiental - Unaerp
# Versão 2 - Com arquivo de log

import serial
import math
import time
import struct
from time import localtime, strftime

# Configura a porta serial

n_serial = raw_input("Digite o número da porta serial:")
n_serial1 = int(n_serial) - 1
ser = serial.Serial(n_serial1, 9600, timeout=3, parity=serial.PARITY_NONE)

# Identificação (endereço) da base e sensor

ID_base = 0
ID_sensor = 1

# Cria o vetor Pacote
pacote = { }

#opção de intervalo entre as medidas dos sensores, pode-se alterar de acordo com o intervalo
desejado
intervalo = 3

while True:
    try:

        #Insere valor zero (0) em todas as posições do pacote de 52 bytes
        for i in range(1,53): # faz um array com 52 bytes
            pacote[i-1] = 0

        # Imprime menu de opções
        print '\n *****MENU***** \n'
        print '1 - Inicia medidas (Temperatura e Pressão):'
        print 's - Para sair:'
        print '\n *****ORIENTAÇÕES***** \n'
        print ' Após digitar a opção pressione <ENTER> para iniciar a execução'

        # Leitura da opção do menu escolhida
        op = raw_input('\n Opção escolhida:')

```

```

# Verifica a opção escolhida no menu
if op == "1": # Aciona LM35 (temperatura) e MPX5700 (pressão)

    medidas = raw_input("\n Digite a quantidade de medidas a serem realizadas pelos
sensores = ')
    w = int(medidas)+1

# Cria arquivo de log das medidas

    datalogger = strftime("TEMPERATURA_e_PRESSÃO_%Y_%m_%d_%H-%M-
%S.txt")
    print " Arquivo de log: %s" % datalogger
    log = open(datalogger, 'w')

    for j in range(1,w):

        # Limpa o buffer da serial
        ser.flushInput()

        # Coloca no pacote o ID_sensor e ID_base
        pacote[8] = int(ID_sensor)
        pacote[10] = int(ID_base)

        # TX pacote - envia pacote para a base transmitir
        for i in range(1,53):
            TXbyte = chr(pacote[i-1]) # Deve converter para caracter em ASCII para escrever na
serial
            ser.write(TXbyte)

        # Tempo de espera para que receba a resposta do sensor
        time.sleep(0.3)

        # RX pacote - recebe o pacote enviado pelo sensor
        line = ser.read(52) # faz a leitura de 52 bytes do buffer que recebe da serial pela COM

        # Checa se recebeu os 52 bytes
        if len(line) == 52:

#Leitura do sensor de temperatura - AD0

            ad0t = ord(line[16])
            ad0h = ord(line[17])
            ad0l = ord(line[18])
            AD0 = ad0h * 256 + ad0l
            Vout = 0.3225 * AD0
            temperatura = Vout

```

```
#Leitura do sensor de pressão - AD1
```

```
ad1t = ord(line[19])
ad1h = ord(line[20])
ad1l = ord(line[21])
AD1 = ad1h * 256 + ad1l
Vout = 0.1556 * AD1
P = Vout
```

```
print j,'Temperatura = ',temperatura,' Pressão = ',P
print >>log,time.asctime(),j,'Temperatura = ',temperatura,' Pressão = ',P
time.sleep(float(intervalo))
```

```
log.close()
```

```
else:
```

```
#opção de saída
```

```
ser.close() # fecha a porta serial
print 'Fim da execução, obrigado por utilizar o Sistema JPL-01!'
break
```

```
ser.flushInput()
```

```
except KeyboardInterrupt:
```

```
ser.close()
break
```



## APÊNDICE C – Relatório de monitoramento no ponto 1



João Paulo de T. Gomes <jptgomes@gmail.com>

### Monitoramento - Ponto 1 - relatório agendado

1 mensagem

ScadaBR <jptgomes@gmail.com>  
Para: jptgomes@gmail.com

17 de junho de 2015 08:43

### Monitoramento - Ponto 1

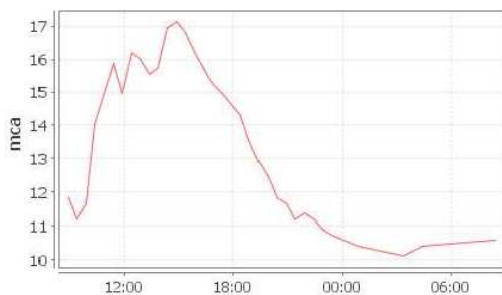
**scadaBR**  
powered by Serotonin's Mango M2M

Início da execução 2015/06/17 08:43  
Duração da execução 7,16s  
Faixa de datas 2015/06/16 08:23 para 2015/06/17 08:41  
Registros 105

#### Estatísticas

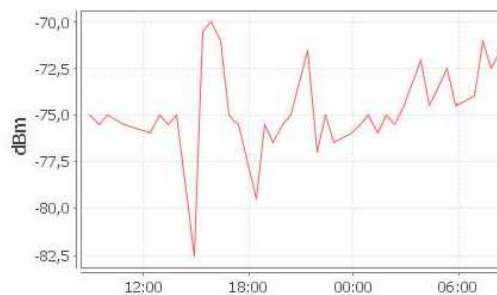
##### Ponto 1 - Pressao

Tipo de dados Numérico  
Início 10,89 mca  
Mínimo 10,11 mca @ 2015/06/17 03:23  
Máximo 17,12 mca @ 2015/06/16 14:53  
Média 12,61 mca  
Soma 439,10 mca  
Contagem 33



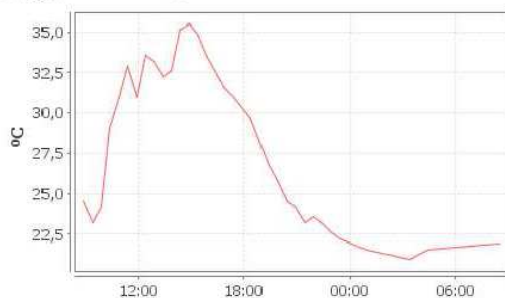
##### Ponto 1 - RSSI

Tipo de dados Numérico  
Início -71,50 dBm  
Mínimo -82,50 dBm @ 2015/06/16 14:53  
Máximo -70,00 dBm @ 2015/06/16 15:53  
Média -74,74 dBm  
Soma -2912,50 dBm  
Contagem 39



##### Ponto 1 - temperatura

Tipo de dados Numérico  
Início 22,57 °C  
Mínimo 20,96 °C @ 2015/06/17 03:23  
Máximo 35,47 °C @ 2015/06/16 14:53  
Média 26,14 °C  
Soma 910,09 °C  
Contagem 33



## APÊNDICE D – Relatório de monitoramento no ponto 2



João Paulo de T. Gomes <jptgomes@gmail.com>

### Monitoramento - Ponto 2 - relatório agendado

1 mensagem

ScadaBR <jptgomes@gmail.com>  
Para: jptgomes@gmail.com

18 de junho de 2015 12:22

### Monitoramento - Ponto 2

**scadaBR**  
powered by Serotonin's Mango M2M

Início da execução 2015/06/18 12:22  
Duração da execução 6,22s  
Faixa de datas 2015/06/17 11:25 para 2015/06/18 12:20  
Registros 104

#### Estatísticas

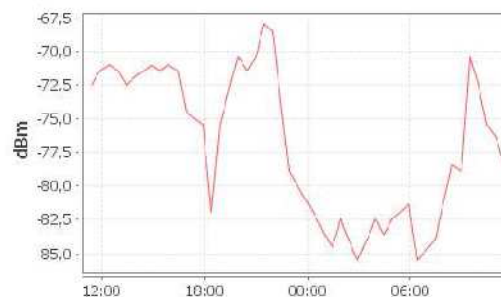
##### Ponto 2 - Pressão

Tipo de dados	Numérico
Início	14,47 mca
Mínimo	10,11 mca @ 2015/06/18 04:55
Máximo	16,65 mca @ 2015/06/17 13:25
Média	13,42 mca
Soma	463,38 mca
Contagem	33



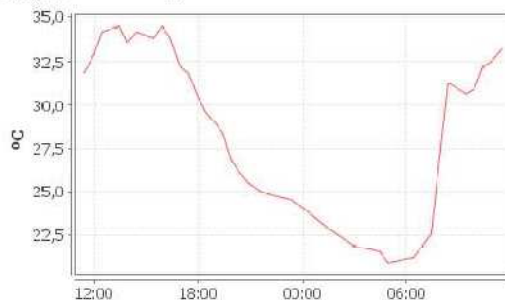
##### Ponto 2 - RSSI

Tipo de dados	Numérico
Início	-71,00 dBm
Mínimo	-85,50 dBm @ 2015/06/18 02:55
Máximo	-68,00 dBm @ 2015/06/17 21:25
Média	76,87 dBm
Soma	-2889,50 dBm
Contagem	38



##### Ponto 2 - temperatura

Tipo de dados	Numérico
Início	29,99 °C
Mínimo	20,06 °C @ 2015/06/18 04:55
Máximo	34,51 °C @ 2015/06/17 13:25
Média	27,82 °C
Soma	960,40 °C
Contagem	33



## APÊNDICE E – Relatório de monitoramento no ponto 3



João Paulo de T. Gomes <jptgomes@gmail.com>

### Monitoramento - Ponto 3 - relatório agendado

1 mensagem

ScadaBR <jptgomes@gmail.com>  
Para: jptgomes@gmail.com

23 de junho de 2015 18:34

### Monitoramento - Ponto 3

**SCADA**BR  
powered by Serotonin's Mango M2M

Início da execução 2015/06/23 18:33  
Duração da execução 6 65s  
Faixa de datas 2015/06/22 18:33 para 2015/06/23 18:33  
Registros 97

#### Estatísticas

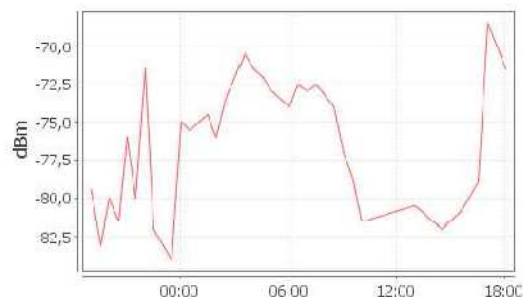
##### Ponto 3 - Pressão

Tipo de dados	Númérico
Início	11,98 mca
Mínimo	8,87 mca @ 2015/06/23 05:03
Máximo	17,74 mca @ 2015/06/23 13:03
Média	12,63 mca
Soma	374,84 mca
Contagem	31



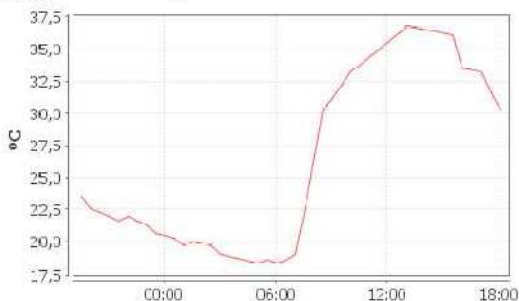
##### Ponto 3 - RSSI

Tipo de dados	Númérico
Início	-63,00 dBm
Mínimo	-64,00 dBm @ 2015/06/22 23:33
Máximo	-68,50 dBm @ 2015/06/23 17:03
Média	-77,19 dBm
Soma	-2682,00 dBm
Contagem	35



##### Ponto 3 - temperatura

Tipo de dados	Númérico
Início	24,33 °C
Mínimo	18,38 °C @ 2015/06/23 05:03
Máximo	36,76 °C @ 2015/06/23 13:03
Média	26,18 °C
Soma	776,90 °C
Contagem	31



## ANEXO A – Mapa do pacote de 52 bytes

Cabeçalhos, des. camadas	Rt(Hd) (#)				MAC (Ad) (#)				Met(Hd) (#)				Tuc(Hd) (#)			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Posição na variável do cabeçalho	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Função de cada posição de cada cabeçalho	RSSI_D	LOI_D	RSSI_ULINK	LOI_ULINK	LINK	ULINK	INK	LINK	DST_ID	DST_MIE	SRC_ID	D	COJUNT	TBD	TBD	TBD
Posição dos bytes no pacote	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Conversores AD	AD0 (#)				AD1 (#)				AD2 (#)				AD3 (#)			
Posição na variável dos AD	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Função de cada posição de cada AD	AD0_W	AD0_H	AD0_L	AD0_U	AD1_W	AD1_H	AD1_L	AD1_U	AD2_W	AD2_H	AD2_L	AD2_U	AD3_W	AD3_H	AD3_L	AD3_U
Posição dos bytes no pacote	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Entradas e saídas digitais	IO0 (#)				IO1 (#)				IO2 (#)				IO3 (#)			
Posição na variável dos IO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Função de cada posição de cada IO	IO0_W	IO0_H	IO0_L	IO0_U	IO1_W	IO1_H	IO1_L	IO1_U	IO2_W	IO2_H	IO2_L	IO2_U	IO3_W	IO3_H	IO3_L	IO3_U
Posição dos bytes no pacote	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49

Fonte: Radiuino (<http://www.radiuino.cc>). Acesso em: 12/08/2014

## ANEXO B – *Firmware* (módulo base)

```
// Radiuino4App_Base: firmware para o nó Base da rede

// Mais informações em www.radiuino.cc
// Copyright (c) 2011
// Author: Pedro Henrique Gomes e Omar C. Branquinho
// Versão 1.0: 15/12/2011
// Este arquivo é parte da plataforma Radiuino
// Este programa é um software livre; você pode redistribuí-lo e/ou modificá-lo dentro dos termos
da Licença Pública Geral Menor GNU
// como publicada pela Fundação do Software Livre (FSF); na versão 2 da Licença, ou (na sua
opinião) qualquer futura versão.
// Este programa é distribuído na esperança que possa ser útil, mas SEM NENHUMA GARANTIA;
sem uma garantia implícita
// de ADEQUAÇÃO a qualquer MERCADO ou APLICAÇÃO EM PARTICULAR. Veja a Licença
Pública Geral Menor GNU para maiores detalhes.
// Você deve ter recebido uma cópia da Licença Pública Geral Menor GNU junto com este
programa, se não, escreva para a Fundação
// do Software Livre(FSF) Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

#include <RADIUINO4APP.h>
#include <EEPROM.h>
#include <SPI.h>

#include "Headers.h"

byte int_rx = 0;          /* Inicialização da interrupção de recepção de pacotes - O hardware gera
uma interrupção no começo que não deve ser tratada */
byte int_buff = 0;       /* Inicialização da interrupção de buffer overflow - O hardware gera
uma interrupção no começo que não deve ser tratada */

/* Configura o Arduino. É executado uma única vez no início do firmware.*/

void setup()
{
  /* Variáveis de configuração do firmware */

  //          ENDEREÇO DA BASE
  // Endereço ou ID da base, que pode ser escolhido de 0 a 255.

  my_addr = 0;          /* Endereço */

  //          AJUSTE DE POTÊNCIA
  // A potência de transmissão pode ser escolhida entre 8 valores possíveis (0 a 7).
  power = 7;          /* Potência */
```

```

//          ESCOLHA DO CANAL DE COMUNICAÇÃO

// Pode ser escolhido de 0 a 65. Os canais estão espaçados de 200kHz na faixa de 915 a 928 MHz

channel = 24;      /* Canal */

//          AJUSTE DE OFFSET

// O rádio usa um cristal que pode apresentar uma diferença de frequência que deve ser
compensada. Este número vem escrito no BE900

freq_offset = 0x11;    /* Offset de frequencia */

//          TAXA DA SERIAL

// Quando o sensor está ligado no programador é possível que ele envie dados pela serial. É útil
para debug de código.
serial_baudrate = 9600; /* Serial baudrate */

/* Inicialização da camada Física */
Phy.initialize();

/* Anexa as funções de interrupção de recepção de pacotes e de estouro de buffer de recepção */
attachInterrupt(0, IntReceiveData, RISING);
attachInterrupt(1, IntBufferOverflow, RISING);
pinMode(GDO0, INPUT);

/* Inicializa o Timer1 e configura o período para 1 segundo */
Timer1.initialize(1000000);

/* Anexa a função de interrupção de estouro do Timer1 */
Timer1.attachInterrupt(IntTimer1);

/* Escreve mensagem de inicialização */
Serial.print("Radiuino! Base");

}

/* Laço de execução do Arduino. É executado continuamente.*/

void loop()
{
  /* Aguarda pela recepção de comandos da porta serial */
  if (Serial.available() > 0)
  {
    Phy.receiveSerial();
  }
}

```

```
/*Trata o pacote recebido pela rede sem fio.*/
```

```
void IntReceiveData()
{
  /* Se for a primeira vez que a interrupção é executada */
  if (int_rx == 0)
  {
    int_rx = 1;
    return;
  }

  /* Reenvia toda informação recebida da rede para o PC */
  if ( digitalRead(GDO0) == HIGH ) {

    /* Recebe os dados de RF */
    if (Phy.receive_base(&g_pkt) == ERR)
      return;

    /* Reenvia pela porta serial */
    Phy.sendSerial(&g_pkt);
  }

  return;
}
```

```
/* Trata o estouro do buffer de recepção.*/
```

```
void IntBufferOverflow()
{
  /* Se for a primeira vez que a interrupção é executada */
  if (int_buff == 0) {
    int_buff = 1;
    return;
  }

  /* Esvazia o buffer de recepção e vai para o estado de RX */
  cc1101.Strobe(CC1101_SFRX);
  cc1101.Strobe(CC1101_SRX);

  return;
}
```

```
/* Trata o estouro do período do Timer1.*/
```

```
void IntTimer1()
{
  return;
}
```

```
/* Interrupção de WatchDog. É executada sempre que o contador de WatchDog é estourado*/  
ISR(WDT_vect) {  
  
}
```



## ANEXO C – Cabeçalho (Headers.h) para os módulos base e sensor

```
// Headers.h : Cabeçalhos de classes

// Mais informações em www.radiuino.cc
// Copyright (c) 2011
// Author: Pedro Henrique Gomes e Omar C. Branquinho
// Versão 1.0: 15/12/2011

// Este arquivo é parte da plataforma RADIUINO
// Este programa é um software livre; você pode redistribuí-lo e/ou modificá-lo dentro dos termos
da Licença Pública Geral Menor GNU
// como publicada pela Fundação do Software Livre (FSF); na versão 2 da Licença, ou (na sua
opinião) qualquer futura versão.
// Este programa é distribuído na esperança que possa ser útil, mas SEM NENHUMA GARANTIA;
sem uma garantia implícita
// de ADEQUAÇÃO a qualquer MERCADO ou APLICAÇÃO EM PARTICULAR. Veja a Licença
Pública Geral Menor GNU para maiores detalhes.
// Você deve ter recebido uma cópia da Licença Pública Geral Menor GNU junto com este
programa, se não, escreva para a Fundação
// do Software Livre(FSF) Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

#ifndef HEADERS_H
#define HEADERS_H 1

/* Pacote */
packet g_pkt;

/* Endereço */
byte my_addr;

/* Potência */
byte power;

/* Canal */
byte channel;

/* Offset de frequência */
byte freq_offset;

/* Serial baudrate */
int serial_baudrate;

/* Buffer serial */
byte serialData[65];
```

```

const byte
CC1101_registerSettings[CC1101_NR_OF_CONFIGS][CC1101_NR_OF_REGISTERS]
PROGMEM = {
{
  0x04, // IOCFG2      GDO2 Output Pin Configuration
  0x07, // IOCFG0      GDO0 Output Pin Configuration
  0x47, // FIFOTHRESH     RX FIFO and TX FIFO Thresholds
  0x34, // PKTLEN         Packet Length
  0x04, // PKTCTRL1       Packet Automation Control
  0x04, // PKTCTRL0       Packet Automation Control
  0x00, // ADDR           Device Address
  0x00, // CHANNR        Channel Number
  0x06, // FSCTRL1       Frequency Synthesizer Control
  0x00, // FSCTRL0       Frequency Synthesizer Control
  0x23, // FREQ2         Frequency Control Word, High Byte
  0x31, // FREQ1         Frequency Control Word, Middle Byte
  0x3B, // FREQ0         Frequency Control Word, Low Byte
  0x27, // MDMCFG4       Modem Configuration
  0x83, // MDMCFG3       Modem Configuration
  0x03, // MDMCFG2       Modem Configuration
  0x22, // MDMCFG1       Modem Configuration
  0xF8, // MDMCFG0       Modem Configuration
  0x66, // DEVIATN       Modem Deviation Setting
  0x18, // MCSM0         Main Radio Control State Machine Configuration
  0x16, // FOCCFG        Frequency Offset Compensation Configuration
  0x6C, // BSCFG         Bit Synchronization Configuration
  0x43, // AGCCTRL2      AGC Control
  0x40, // AGCCTRL1      AGC Control
  0x91, // AGCCTRL0      AGC Control
  0x56, // FRENDD1       Front End RX Configuration
  0x10, // FRENDD0       Front End TX Configuration
  0xE9, // FSCAL3        Frequency Synthesizer Calibration
  0x2A, // FSCAL2        Frequency Synthesizer Calibration
  0x00, // FSCAL1        Frequency Synthesizer Calibration
  0x1F, // FSCAL0        Frequency Synthesizer Calibration
  0x59, // FSTEST        Frequency Synthesizer Calibration Control
  0x88, // TEST2         Various Test Settings
  0x31, // TEST1         Various Test Settings
  0x09, // TEST0         Various Test Settings
}
};

const byte CC1101_paTable[CC1101_NR_OF_CONFIGS][CC1101_PA_TABLESIZE]
PROGMEM={
// -30 -20 -15 -10  0  5  7  10
  {0x03,0x0E,0x1E,0x27,0x8E,0x84,0xCC,0xC3}, // Configuração 0
};

#endif

```

## ANEXO D – *Firmware* (módulo sensor)

```
// Radiuino4App_Sensor: firmware para os nós Sensores da rede

// Mais informações em www.radiuino.cc
// Copyright (c) 2011
// Author: Pedro Henrique Gomes e Omar C. Branquinho
// Versão 1.0: 15/12/2011
// Este arquivo é parte da plataforma Radiuino
// Este programa é um software livre; você pode redistribuí-lo e/ou modificá-lo dentro dos termos
da Licença Pública Geral Menor GNU
// como publicada pela Fundação do Software Livre (FSF); na versão 2 da Licença, ou (na sua
opinião) qualquer futura versão.
// Este programa é distribuído na esperança que possa ser útil, mas SEM NENHUMA GARANTIA;
sem uma garantia implícita
// de ADEQUAÇÃO a qualquer MERCADO ou APLICAÇÃO EM PARTICULAR. Veja a Licença
Pública Geral Menor GNU para maiores detalhes.
// Você deve ter recebido uma cópia da Licença Pública Geral Menor GNU junto com este
programa, se não, escreva para a Fundação
// do Software Livre(FSF) Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

#include <RADIUINO4APP.h>
#include <EEPROM.h>
#include <SPI.h>

#include "Headers.h"

byte int_rx = 0;          /* Inicialização da interrupção de recepção de pacotes - O hardware gera
uma interrupção no começo que não deve ser tratada */
byte int_buff = 0;       /* Inicialização da interrupção de buffer overflow - O hardware gera
uma interrupção no começo que não deve ser tratada */

void setup()
{
  /* Variáveis de configuração do firmware */

  //          ENDEREÇO DO NÓ SENSOR

  // Endereço ou ID do nó sensor, que pode ser escolhido de 0 a 255.

  my_addr = 1;          /* Endereço */

  //          AJUSTE DE POTÊNCIA

  // A potência de transmissão pode ser escolhida entre 8 valores possíveis (0 a 7).

  power = 7;           /* Potência */

  //          ESCOLHA DO CANAL DE COMUNICAÇÃO
```

```
// Pode ser escolhido de 0 a 65.

channel = 24;          /* Canal */

//          AJUSTE DE OFFSET

// O rádio usa um cristal que pode apresentar uma diferença de frequência que deve ser
compensada. Este número vem escrito no BE900

freq_offset = 0x11;   /* Offset de frequencia */

//          TAXA DA SERIAL

serial_baudrate = 9600; /* Serial baudrate */

// Inicialização das 5 camadas da rede

/* Inicialização da camada Física */
Phy.initialize();

/* Inicialização da camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) */
Mac.initialize();

/* Inicialização da camada de Rede */
Net.initialize();

/* Inicialização da camada de Transporte */
Transp.initialize();

/* Inicialização da camada de Aplicação */
App.initialize();

/* Anexa as funções de interrupção de recepção de pacotes e de estouro de buffer de recepção */
attachInterrupt(0, IntReceiveData, RISING);
attachInterrupt(1, IntBufferOverflow, RISING);
pinMode(GDO0, INPUT);

/* Inicializa o Timer1 e configura o período para 1 segundo */
Timer1.initialize(1000000);

/* Anexa a função de interrupção de estouro do Timer1 */
Timer1.attachInterrupt(IntTimer1);

/* Escreve mensagem de inicialização */
Serial.print("Radiuino! Sensor");
}

/* Laço de execução do Arduino. É executado continuamente.*/
```

```

void loop()
{
  /* Verifica se deve entrar em modo Sleep */
  verifySleepEntering();

}

/* Trata o pacote recebido pela rede sem fio. */

void IntReceiveData()
{

  /* Se for a primeira vez que a interrupção é executada */
  if (int_rx == 0)
  {
    int_rx = 1;
    return;
  }

  /* Reenvia toda informação recebida da rede para o PC */
  if ( digitalRead(GDO0) == HIGH )
  {
    /* Recebe os dados de RF */
    Phy.receive(&g_pkt);
  }

  return;
}

/* Trata o estouro do buffer de recepção.*/

void IntBufferOverflow()
{
  /* Se for a primeira vez que a interrupção é executada */
  if (int_buff == 0) {
    int_buff = 1;
    return;
  }

  /* Esvazia o buffer de recepção e vai para o estado de RX */
  cc1101.Strobe(CC1101_SFRX);
  cc1101.Strobe(CC1101_SRX);

  return;
}

/* Trata o estouro do período do Timer1.*/

void IntTimer1()
{

```

```

return;
}

/* Realiza uma operação Atômica para verificar se deve entrar no modo Sleep ou se deve sair do
modo Sleep */

void verifySleepEntering ( void ) {
  ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_FORCEON)
  {
    if (Mac.time_to_sleep > 0) {

      /* Aguarda o fim da transmissão do ACK SLEEP */
      delayMicroseconds(500);
      while(Phy.txFifoFree() != CC1101_FIFO_SIZE);

      /* Entra em modo Sleep */
      Phy.lowPowerOn();

    }
    else if (Mac.time_to_sleep == 0) {

      /* Saindo do modo de Sleep */
      cc1101.Strobe(CC1101_SIDLE);
      delay(1);
      cc1101.Strobe(CC1101_SFTX);
      cc1101.Strobe(CC1101_SFRX);
      cc1101.Strobe(CC1101_SRX);

      Mac.time_to_sleep = -1;
    }
  }
}

/**
 * Interrupção de WatchDog. É executada sempre que o contador de WatchDog é estourado
 */
ISR(WDT_vect) {

  /* Verifica se precisa decrementar o contador de Sleep */
  if (Mac.time_to_sleep > 0) {
    Mac.time_to_sleep--;
    return;
  }
}

```