

# *Monografia de Graduação*

## **Projeto e Implementação de um Sensor Magnético Sem Fio Aplicado ao Método Plunger Lift**

**Hudson Thiago Marinho da Silva**

**Natal, agosto de 2009**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E  
AUTOMAÇÃO

# Projeto e implementação de um sensor magnético sem fio aplicado ao método *Plunger Lift*

**Hundson Thiago Marinho da Silva**

Orientador: Prof. Dr. Andrés Ortiz Salazar

**Monografia** apresentada ao corpo docente do Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos pré-requisitos para obtenção da formação superior em Engenharia de Computação.

Natal, RN, 9 de julho de 2009

# **Projeto e implementação de um sensor magnético sem fio aplicado ao método *Plunger Lift***

**Hudson Thiago Marinho da Silva**

Monografia aprovada em 9 de Julho de 2009 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

---

Prof. Dr. Andrés Ortiz Salazar (orientador) ..... DCA/UFRN

---

Prof. Dr. Adrião Duarte Dória Neto ..... DCA/UFRN

---

Prof. Me. José Alberto Diaz Amado ..... LAMP/UFRN

*Aos meus pais, minha namorada e  
meus amigos, por todo amor,  
carinho e paciência, sentimentos  
sem os quais não teria força para  
terminar mais este projeto, tão  
importante em minha vida.*

# Agradecimentos

A Deus, que sempre me guiou nas tomadas de decisão, iluminando o meu caminho.

Aos meus pais, Luiza Marinho e Antonio Cassimiro, que sempre estiveram ao meu lado, em todos os momentos de minha vida.

A Joelma Pitanga, por todo amor e paciência, durante todo o curso deste projeto.

Aos colegas de graduação e de projeto, pelo apoio, críticas e sugestões.

Ao colega de projeto, Jefferson Doolan Fernandes, sou grato pela co-orientação.

Ao meu professor orientador, Andrés Ortiz Salazar, sou grato pela orientação.

# Resumo

Este documento tem por objetivo mostrar o projeto e implementação de um sensor magnético sem fio, utilizando a tecnologia mais apropriada, para a substituição da forma de comunicação convencional, com fios, existente atualmente nos campos de produção de petróleo com o método *Plunger Lift*, mantendo a qualidade do método e reduzindo os custos com instalação e manutenção.

# Sumário

<b>Sumário</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>v</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	1
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>2</b>
2.1 Método Plunger Lift . . . . .	2
2.1.1 Etapas do Plunger Lift . . . . .	2
2.1.2 Variações do Plunger Lift . . . . .	4
2.2 Instrumentação Atual . . . . .	4
2.3 Sistema de Comunicação: CLP ↔ Sensor Magnético . . . . .	8
2.4 Tecnologias de Comunicação Sem Fio . . . . .	10
2.4.1 Padrão LR-WPAN IEEE 802.15.4 . . . . .	11
<b>3 Metodologia</b>	<b>13</b>
3.1 Sensor Magnético . . . . .	13
3.2 Instrumentação Sem Fio Proposta . . . . .	15
3.2.1 Placa de Comunicação Sem Fio . . . . .	15
3.2.2 Especificação Técnicas do Sensor Magnético Sem Fio Proposto .	16
3.3 Testes Laboratoriais Gerais . . . . .	18
3.3.1 Economia de Energia nos Módulos de Comunicação Escravos . .	20
3.3.2 Troca de Mensagens . . . . .	21
3.4 Testes Laboratoriais Específicos . . . . .	23
3.4.1 Descrição dos dispositivos e ferramentas computacionais utilizadas	23
3.4.2 Comunicação entre o Supervisório, o Sensor Magnético e a Válvula	25
<b>4 Resultados</b>	<b>29</b>
4.1 Resultados Gerais . . . . .	29
4.1.1 Coexistência entre o LR-WPAN IEEE 802.15.4 e IEEE 802.11b .	29
4.1.2 Pacotes Enviados em Ambiente Externo Sem Obstáculo . . . . .	30
4.1.3 Pacote Enviados em Ambiente Interno Com Obstáculos . . . . .	31

4.2	Resultados Específicos . . . . .	32
4.2.1	Atrasos Durante Comunicação . . . . .	32
4.2.2	Consumo de Energia do Sensor Magnético . . . . .	34
4.2.3	Consumo do Sensor Magnético Com A Placa Transceptora . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>36</b>
	<b>Glossário</b>	<b>37</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>38</b>



# Lista de Figuras

2.1	Etapa Buildup. . . . .	3
2.2	Etapa Upstroke. . . . .	3
2.3	Etapa Afterflow. . . . .	3
2.4	Etapa Downstroke. . . . .	3
2.5	Ilustracao das variantes do <i>plunger lift</i> existentes. Esquerda: Natural. Direita: Assistido . . . . .	4
2.6	Fotografia de um dos poços visitados durante visita técnica (Lorena - Mossoró/RN) . . . . .	5
2.7	Localização do sensor magnético em campo (Lorena - Mossoró/RN). . . . .	5
2.8	Transdutores pressão/corrente presente em campo (Lorena - Mossoró/RN). . . . .	6
2.9	Sensor de vazão instalado na linha de injeção de gás (Lorena – Mosso- ró/RN). . . . .	6
2.10	Válvula pneumática (Lorena – Mossoró/RN). . . . .	6
2.11	Válvula eletro-pneumática (Lorena – Mossoró/RN). . . . .	7
2.12	CLP usado no campo (Lorena - Mossoró/RN). . . . .	7
2.13	Sistema de alimentação (Lorena – Mossoró/RN) . . . . .	8
2.14	Antena transmissora (Lorena – Mossoró/RN). . . . .	8
2.15	Comunicação atual entre os sensores, atuadores e o CLP. . . . .	9
2.16	Atual implementação do sensor magnético (Lorena – Mossoró/RN). . . . .	9
2.17	Camadas de comunicação, protocolo IEEE 802.15.4. . . . .	12
3.1	Sensor Magnético – Sensor-Inductive Style. . . . .	13
3.2	Sensor Magnético - Diagrama de bloco da implementação atual. . . . .	14
3.3	Sensor Magnético - Caixa contendo o sensor magnético e o módulo trans- missor. . . . .	15
3.4	Placa de comunicação 13182 EVB do kit 13193 EVK . . . . .	15
3.5	Circuitos criados para os testes desenvolvidos. . . . .	18
3.6	Supervisório implementado em Labview. . . . .	20
3.7	Comunicação entre mestre e escravo. . . . .	21
3.8	Comunicação entre escravo e mestre. . . . .	22
3.9	Comunicação entre o supervisório e o mestre. . . . .	23
3.10	Placa mestre utilizada nos testes específicos. . . . .	24
3.11	Placas escravas utilizadas nos testes específicos. . . . .	24
3.12	Supervisório implementado para os estes específicos na comunicação do sensor magnético. . . . .	25

3.13	Diagrama de comunicação entre os dispositivos (momento de abertura). .	27
3.14	Diagrama de comunicação entre os dispositivos (momento de fechamento).	28
4.1	Testes realizados com distância de 16 metros em ambiente interno com obstáculos. . . . .	31
4.2	Atrasos durante 6 horas de execução. . . . .	33
4.3	Atrasos durante 18 horas de execução. . . . .	33
4.4	Tempos de atraso durante 6 horas de execução. . . . .	34

# Lista de Tabelas

2.1	Comparativo entre algumas tecnologias sem fio existentes. . . . .	10
3.1	Especificações técnicas do sensor magnético <i>Sensor-Inductive Style</i> da <i>Ferguson Beauregard</i> . . . . .	14
3.2	Especificações técnicas do sensor magnético sem fio. . . . .	18
3.3	Descrição dos componentes utilizados circuitos para testes figura 3.5. . .	19
4.1	Medições em ambiente externo com visada direta de 5 a 50 metros. . . . .	31

# Capítulo 1

## Introdução

Na indústria do petróleo, a instrumentação, referente à comunicação entre os sensores, atuadores e os controladores (CLPs) presentes nos métodos de elevação, ainda é feita, em sua grande maioria, de forma cabeada. Com as inovações tecnológicas no campo da comunicação, diversas tecnologias vêm sendo propostas com o intuito de atender à real necessidade dos usuários, com a melhor qualidade possível. Propondo obter maior flexibilização da comunicação, mobilidade dos equipamentos instalados nos campos de petróleo e um menor custo de instalação e manutenção destes, a tecnologia sem fio se apresenta como um diferencial na indústria petroquímica. São muitos os benefícios propiciados pelo uso desta tecnologia [Flowers et al. 2006].

### 1.1 Objetivos

Este trabalho é parte do projeto de desenvolvimento e implementação de uma solução sem fio destinada a substituir a instrumentação atual dos poços com *plunger lift*, realizado em parceria com a Petrobras. O objetivo principal é a criação de um instrumento sem fio para a monitoração do módulo metálico (pistão) utilizando a tecnologia para comunicação RSSF (redes de sensores sem fio) apropriada, escolhida a partir de pesquisas, mantendo a qualidade da aplicação e trazendo melhorias com relação à instalação e manutenção dos equipamentos.

# Capítulo 2

## Revisão Bibliográfica

Nesta etapa serão abordados os temas relacionados à atual implementação de poços, cujo método de elevação utilizado é o *plunger lift*. Sua forma de funcionamento e os equipamentos existentes em sua instrumentação serão descritos. As limitações inerentes ao processo, direcionadas a instalação do sensor magnético em sua atual forma com cabos e eletrodutos, serão abordadas com o intuito de justificar o porquê da instrumentação sem fio ser uma importante solução para o projeto, levando em conta também as características e limitações da tecnologia proposta.

### 2.1 Método Plunger Lift

Patenteado por Kenneth M. Issacks, em julho de 1980, o *plunger lift* é um método de elevação artificial não contínuo, que tem como principal elemento um pistão presente na coluna de produção (*tubing*). Uma breve introdução ao método foi alvo de estudo de E. Beauregard e Paul L. Ferguson em 1982 [Beauregard & Ferguson 1982]. Com o poço fechado, uma coluna de fluidos é acumulada logo acima do pistão. Com a abertura do poço, realizada por uma válvula pneumática (*motor valve*) presente na superfície, é gerada uma diferença de pressão, que faz com que o gás presente na formação se expanda, empurrando o pistão pela coluna de produção e deslocando os fluidos para a superfície [Langston 2003]. Dentre os métodos de elevação existentes, o *plunger lift* representa uma solução para a problemática associada ao bombeio mecânico quando a relação gás líquido do poço se torna alta.

#### 2.1.1 Etapas do Plunger Lift

A etapa de produção do método de *plunger lift* é dividida em quatro etapas:

- **Buidup:** Com a válvula pneumática fechada, o interior do poço começa a entrar num processo crescente de pressurização, onde a diferença de densidade entre o gás e o líquido faz com que o óleo se desloque para a coluna de produção (acima do pistão), permanecendo o gás no espaço anular por possuir densidade menor.

- **Upstroke:** Após um tempo determinado empiricamente, considerando que a pressão no interior do poço atingiu o nível ideal, a válvula pneumática é aberta fazendo com que, pela diferença de pressão entre a atmosfera e o interior do poço, o gás presente no espaço anular se expanda empurrando o conjunto pistão, óleo e gás.

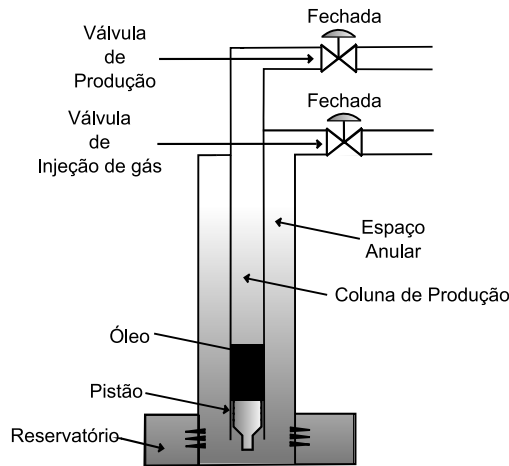


Figura 2.1: Etapa Buildup.

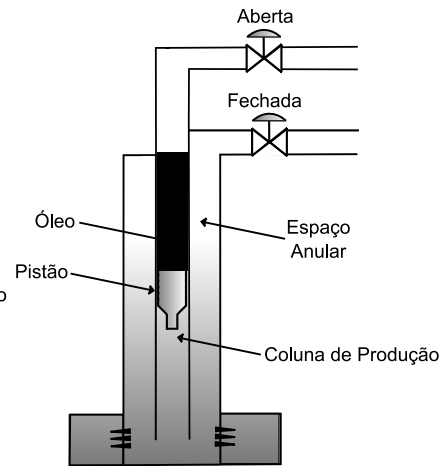


Figura 2.2: Etapa Upstroke.

- **Afterflow:** Com a chegada do pistão a superfície, a válvula pneumática é mantida aberta por um tempo determinado empiricamente, tendo em vista que seja produzido o máximo possível na linha de produção.
- **Downstroke:** Com o fechamento da válvula, o pistão cai ao fundo do poço, dando início a um novo ciclo do processo.

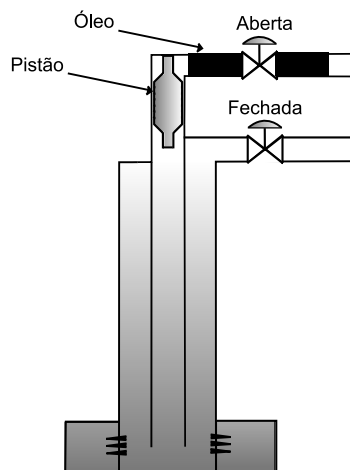


Figura 2.3: Etapa Afterflow.

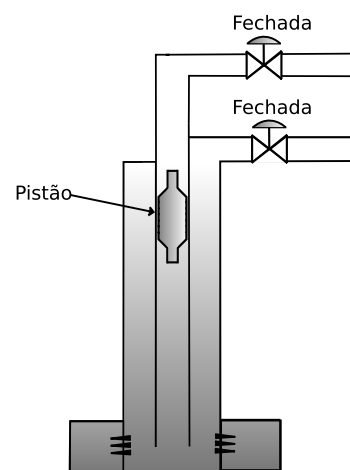


Figura 2.4: Etapa Downstroke.

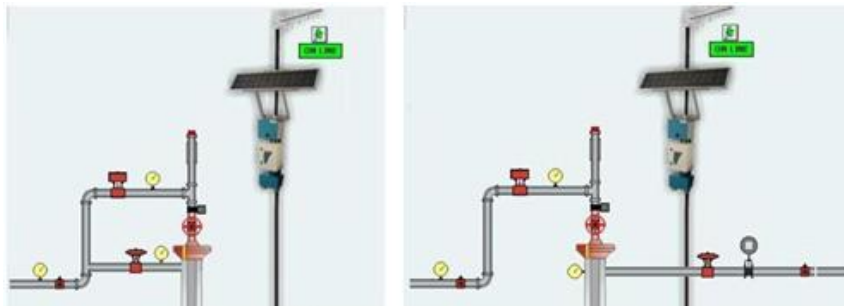
O pistão para o processo é muito importante. Na tentativa de otimizar o processo, o pistão é fonte de pesquisas. Esses estudos visam melhorar, por exemplo, a etapa de

*downstroke*, diminuindo o tempo de queda do pistão, influenciada pelo atrito, desenvolvendo pistões dotados de elementos especiais em sua aerodinâmica.

### 2.1.2 Variações do Plunger Lift

O método de *plunger lift* pode ser natural ou assistido. Abaixo temos uma breve descrição das duas variantes, que podem ser visualizadas na figura 2.5:

- No método natural, o poço, por si só, possui força suficiente para deslocar o pistão no processo. Neste método o gás produzido pela formação tem uma pressão ideal para o deslocamento (figura a esquerda).
- No método assistido, o poço não produz gás com força suficiente para realizar o deslocamento do pistão, sendo necessária a injeção de gás no espaço anular, com pressão suficiente para que, quando somada a pressão do gás da formação, seja realizado o deslocamento. A injeção de gás se assemelha ao método de *gas lift*. (figura a direita)



**Figura 2.5:** Ilustração das variantes do *plunger lift* existentes. Esquerda: Natural. Direita: Assistido

## 2.2 Instrumentação Atual

Durante visita técnica ao campo de Lorena, Mossoró/RN, realizada em 25 de abril de 2008, foram coletadas informações referentes à forma como esta estruturada a instrumentação dos poços de *plunger lift* presentes no campo.

Abaixo podemos observar uma descrição breve dos equipamentos presentes em campo.

- **Sensores**

- **Sensor Magnético:** Sensor responsável por monitorar o momento em que o pistão passa pelo lubrificador, chegando à superfície, durante a etapa de *Upstroke*. O sensor usual, para esta aplicação, tem como base teórica a indução magnética e fica fixo ao lubrificador. No momento em que o pistão passa pelo lubrificador uma corrente é induzida no sensor de maneira que este envia um



**Figura 2.6:** Fotografia de um dos poços visitados durante visita técnica (Lorena - Mossoró/RN)

pulso momentâneo para o CLP indicando a chegada do pistão. Um exemplo de sensor magnético usado em campo, como constatado durante visita técnica, pode ser visto na figura 2.7. Maiores detalhes sobre o sensor magnético utilizado neste projeto serão vistos no capítulo 3.



**Figura 2.7:** Localização do sensor magnético em campo (Lorena - Mossoró/RN).

- **Sensor de Pressão:** Em campo existem três sensores de pressão. Um situado na cabeça de poço, na parte superior do revestimento responsável por medir a pressão no espaço anular. Um situado na linha surgência, responsável por medir a pressão do separador. O último está localizado na coluna de produção. Estes sensores monitoram as pressões continuamente, enviando-as ao CLP através de tubos capilares que passam antes por transdutores pressão/corrente localizados abaixo do CLP. Um exemplo de sua localização pode ser visto na figura 2.8.
- **Sensor de Vazão (Gás Injetado):** Encontra-se na linha de injeção de gás e mede de maneira instantânea a vazão enviando as informação para o CLP que, por sua vez, as utiliza, regulando a válvula eletro-pneumática. O sensor utilizado atualmente em campo é o do tipo Vortex *Flowmeter* DY015 do fabricante Yokogawa, que pode ser visualizado na figura 2.9.





**Figura 2.8:** Transdutores pressão/corrente presente em campo (Lorena - Mossoró/RN).



**Figura 2.9:** Sensor de vazão instalado na linha de injeção de gás (Lorena – Mossoró/RN).

• **Atuadores**

- **Válvula Pneumática:** Situado na linha de surgência, é controlado pelo CLP através de um sistema pneumático de acionamento, funcionando totalmente aberta ou totalmente fechada. Quando fechada, permite que o poço seja pressurizado para a etapa de Buildup. Quando totalmente aberto, com a diferença de pressão (etapa de *Upstroke*), faz com que o conjunto pistão+líquido+gás seja trazido à superfície, para linha de produção. Sua localização pode ser vista na figura 2.10.



**Figura 2.10:** Válvula pneumática (Lorena – Mossoró/RN).

- **Válvula Analógica Eletro-Pneumática** Situado na linha de injeção de gás, é responsável por regular a injeção de gás no espaço anular para o método assis-

tido. O CLP é o responsável pelo controle, enviando sinais elétricos, que são posteriormente convertidos, para o acionamento pneumático. O controle de malha fechada é feito tendo como base as informações coletadas pelo sensor de vazão, também presente na malha. Sua localização pode ser vista na figura 2.11.



**Figura 2.11:** Válvula eletro-pneumática (Lorena – Mossoró/RN).

- **Controlador Lógico Programável (CLP):** Unidade responsável por controlar a malha de troca de dados em campos de produção de petróleo. No método *plunger lift*, especificamente, o CLP usado tem por objetivo: temporizar a espera até a válvula pneumática ser aberta, durante a etapa de *Buildup*, monitorar a chegada do pistão, temporizar quanto tempo a válvula ficará aberta durante a etapa de *Afterflow* e colher e monitorar os dados referentes à vazão e a pressão do gás injetado no processo assistido a partir dos sensores presentes. O CLP, unidade remota (UR), por sua vez, também é responsável por realizar a comunicação com a unidade mestra (UM). A comunicação entre a UR e UM se dá por rádio frequência. Esta configuração pode ser considerada um exemplo típico de um sistema supervisório SCADA. O CLP usado em campo atualmente é o ZAP 500 BX da HI Tecnologia, que pode ser visualizado na figura 2.12.



**Figura 2.12:** CLP usado no campo (Lorena - Mossoró/RN).

- **Sistema de Alimentação:** Responsável por dá suporte energético ao CLP, o sistema de comunicação remota com o supervisor e ao sistema de acionamento pneumático. É Constituído de um painel solar com células fotovoltaicas, um controlador de carga e uma bateria. Sua localização pode ser visto na figura 2.13.



**Figura 2.13:** Sistema de alimentação (Lorena – Mossoró/RN)

- **Sistema de Comunicação (CLP e Supervisor):** Responsável pela comunicação entre o CLP e a base supervisória do campo e vice-versa. A comunicação é sem fio por rádio frequência UHF (*Ultra High Frequency*) com a presença de um rádio modem instalado junto ao CLP e uma antena transmissora de 5 watts de potência, conforme a figura 2.14.

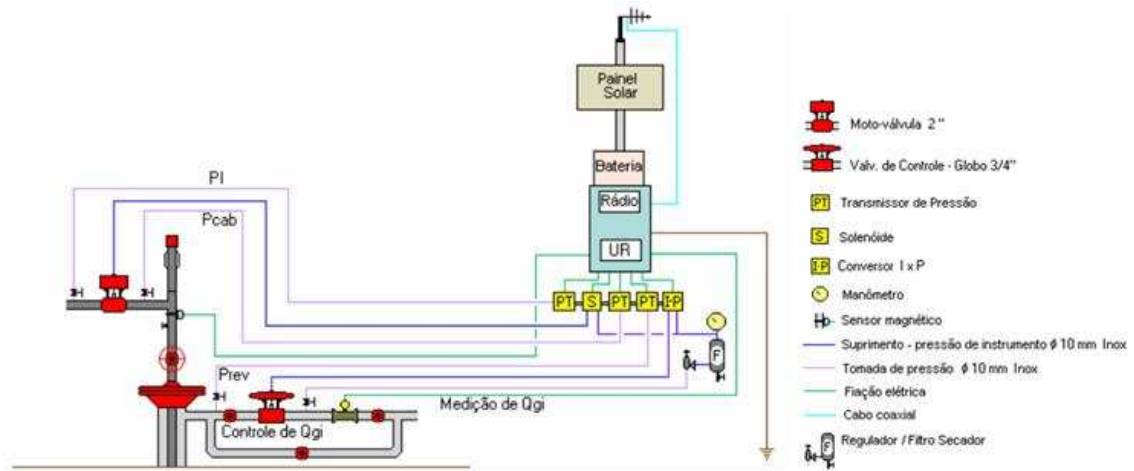


**Figura 2.14:** Antena transmissora (Lorena – Mossoró/RN).

Observando a figura 2.15, podemos ver um modelo esquemático das ligações existentes no método em sua forma atual.

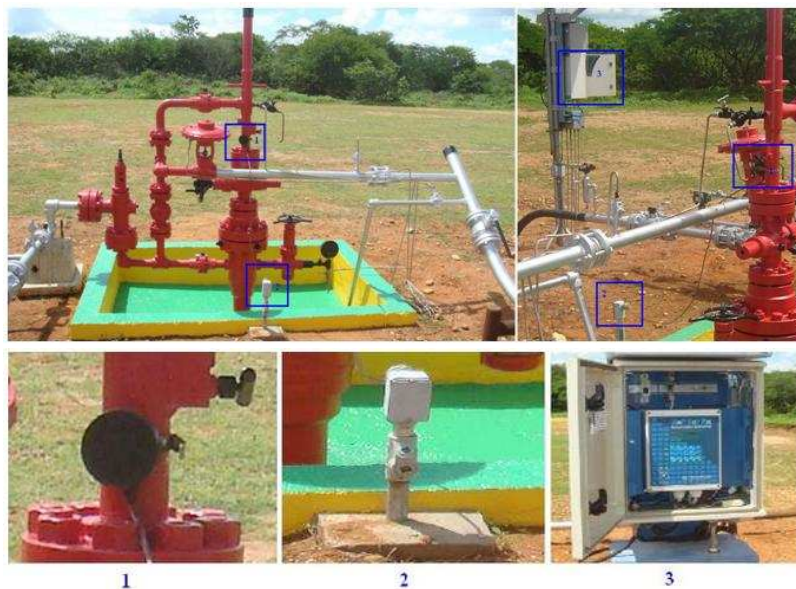
### 2.3 Sistema de Comunicação: CLP ↔ Sensor Magnético

O atual modelo físico de troca de informações, baseado em fios, cabos e tubos capilares, apresenta diversos problemas que surgem com maior ou menor intensidade [Campos 2006]. A ligação entre o sensor magnético e o CLP, como constatado durante visita técnica, pode ser visualizada na figura 2.16, onde o quadro 1 engloba o sensor magnético, podendo ser vista sua conexão até o cano condutor, quadro 2, que conduz o fio, subterraneamente, até o CLP, quadro 3. Como podemos observar, entre o sensor magnético e



**Figura 2.15:** Comunicação atual entre os sensores, atuadores e o CLP.

o cano condutor, o fio responsável pela transmissão do sinal se encontra exposto, o que pode levar os cabos a serem danificados por animais ou por pessoas não autorizadas que passem pelo local. Além disso, uma manutenção futura do poço obrigaria a retirada de todo o conjunto.



**Figura 2.16:** Atual implementação do sensor magnético (Lorena – Mossoró/RN).

Podemos destacar também, como problemas, as questões relativas à manutenção dos instrumentos de campo, que para um sistema com cabos se torna um processo custoso. Destacar também o tempo necessário para a instalação de um novo instrumento e a inflexibilidade, que em um sistema cabeado, torna-se também um processo dispendioso, um gargalo para a operacionalidade [Zheng 2006]. Sabendo que a indústria do petróleo



caracteriza-se por ser, em quase toda sua totalidade, uma área com permanentes riscos de explosões, também denominada de "Área classificada", a retirada de cabos que interligam os sensores, atuadores, supervisórios, CLPs e microcontroladores torna-se de extrema importância além de tornar os sistemas mais flexíveis, portáteis, com uma maior confiabilidade dos dados trafegados e com um menor custo operacional de instalação e desinstalação destes equipamentos [Campos 2006].

## 2.4 Tecnologias de Comunicação Sem Fio

A tecnologia de comunicação sem fio que permita uma elevada quantidade de dispositivos conectados, a um baixo custo operacional e energético, e com alto grau de confiabilidade, se torna uma boa solução para as desvantagens existentes no sistema de comunicação com fio e é um forte tema de estudos [Gessinger & Hennig 2005]. Tendo em vista que existem diversas tecnologias sem fio no mercado, a escolha da que mais se adequa a aplicação, levando em consideração as características de cada tecnologia existente, foi feita mediante a análise das que mais se destacam. O quadro (tabela 2.1) abaixo lista algumas dessas tecnologias.

	<b>HomeRF</b>	<b>Bluetooth (IEEE 802.15.4)</b>	<b>ZigBee (IEEE 802.15.4)</b>	<b>Wi-Fi (IEEE 802.11b)</b>
<b>Aplicações</b>	Redes residenciais	Conectividade pessoal	RSSF	Redes corporativas
<b>Camada física</b>	FHSS	FHSS	DSSS	DSSS
<b>Distância (metros)</b>	50	10	100	100
<b>Frequência (GHz)</b>	2,4	2,4	2,4	2,4
<b>Topologia</b>	Ponto a ponto	Ponto-multiponto	Ponto-multiponto	Ponto-multiponto
<b>Max. Potência transmitida (mW)</b>	100	1 a 100	1 a 100	100
<b>Taxa de dados</b>	2 Mbps	1 Mbps	250 Kbps	11 Mbps
<b>Tipo de dados</b>	Voz e dados	Voz e dados	Dados	Dados
<b>Tipo de rede</b>	WLAN	WPAN	LR-WPAN	WLAN
<b>Custo (US\$)</b>	100 por computador	5 por módulo	3 por módulo	100 por módulo

**Tabela 2.1:** Comparativo entre algumas tecnologias sem fio existentes.

Sendo a aplicação uma rede de sensores sem fio (RSSF), baseada na comunicação entre diversos dispositivos, como sensores e atuadores, onde trafegam basicamente dados, a taxa de transmissão de dados não necessita ser elevada, o que influencia diretamente em outros parâmetros como:

- Baixo Custo de implementação;
- Baixo consumo de energia;
- Alta eficiência, utilizando poucos recursos de processamento;
- Segurança dos dados;
- Determinismo na rede.

### 2.4.1 Padrão LR-WPAN IEEE 802.15.4

Tendo como base a documentação fornecida pela IEEE 802.15.4 [IEEE 2006], redes LR-WPAN (*Low Rate – Wireless Personal Area Network*), priorizam aplicações sem fio entre equipamentos que não precisem de altas taxas de transmissão de dados, mas que, em contra partida, necessitem de baixa latência e consumo de energia.

Dentre as características do padrão IEEE 802.15.4 existentes, podemos destacar:

- Taxa de transmissão de dados de 250kbps, 40kbps e 20kbps;
- Topologia estrela e ponto-a-ponto;
- Endereçamentos de 16 bits ou 64 bits;
- Alocação de *slots* garantidos no tempo (*Guaranteed Time Slots – GTS*);
- Acesso ao canal implementado com *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA)*;
- Baixo consumo de energia, (após a transmissão, os dispositivos entram em *stand-by* reduzindo, assim, o consumo de energia);
- Detecção de energia (*ED – Energy Detection*);
- Indicação da qualidade da conexão (*Link Quality Indication – LQI*);
- 16 canais na banda de 2,4Ghz, 10 na banda de 915Mhz e 1 na banda de 868Mhz

Em 2006 e 2007 algumas características foram modificadas, onde podemos citar as referentes à taxa de transmissão e aos canais de transmissão, listadas abaixo.

- Taxa de transmissão de dados de 250kbps, 100kbps, 40kbps e 20kbps (revisão 2006) ;

- 16 canais na banda de 2,4Ghz, 30 na banda de 915Mhz e 3 na banda de 868Mhz (revisão 2006), 16 canais em 3 bandas UWB (3 a 5Ghz, 6 a 10Ghz e menos de 1Ghz) e 14 canais operando em Chirp Spread Spectrum (CSS) a 2,4Ghz (revisão 2007)

Apesar das modificações relatadas acima no que diz respeito ao protocolo, neste projeto foi utilizada a versão inicial do protocolo (2003).

Como visto em [Oliveira 2009] no padrão IEEE 802.15.4 existe sempre um dispositivo com funcionalidades mais abrangentes, nomeado de *Full-function Device (FFD)*, que pode operar em três modos, servindo como coordenador da rede pessoal, um coordenador ou um membro simples da rede. Também deve existir um dispositivo de função reduzida (*Reduced-function Device – RFD*), ao qual pode, apenas, se comunicar com o coordenador (FFD). Um RFD é indicado para aplicações que sejam extremamente simples, tais como interruptores de luz ou sensores infravermelhos passivos, que não necessitem transmitir um grande volume de dados e que, em alguns casos, estejam associados a um único FFD. Conseqüentemente, o RFD pode ser implementado utilizando poucos recursos e pouca capacidade de memória.

Um dispositivo LR-WPAN compreende a camada física (PHY), que contém o transceiver de rádio frequência com seus mecanismos de controle, e a camada de acesso intermediária (*Medium Access Control – MAC*) que fornece o elo entre a camada física e a camada de enlace, realizando a transferência de dados [Campos 2006]. Na figura 2.17 podemos verificar como estão dispostas as camadas de comunicação do protocolo IEEE 802.15.4. As camadas de aplicação e rede são definidas pelo usuário. No caso deste projeto, a aplicação se encontra na camada de rede, e é desenvolvida a partir de funções disponibilizadas pela camada MAC. Um estudo mais aprofundado do protocolo IEEE 802.15.4 pode ser visto em [Oliveira 2009].

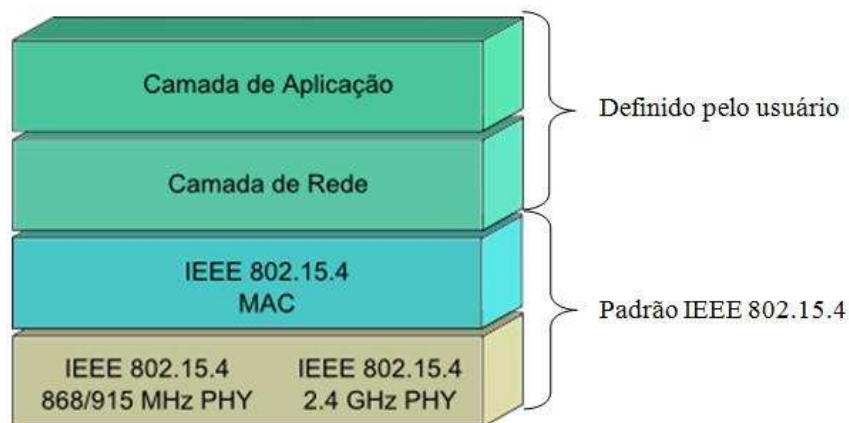


Figura 2.17: Camadas de comunicação, protocolo IEEE 802.15.4.

# Capítulo 3

## Metodologia

Tendo em vista que a fase de implementação do projeto ainda não foi iniciada, devido a atrasos na entrega do equipamento, nesta etapa serão mostrados quais os hardwares e softwares foram utilizados para a simulação em laboratório, assim como um esboço inicial do protótipo a ser desenvolvido e suas especificações técnicas.

### 3.1 Sensor Magnético

Para um bom funcionamento do método de elevação, *plunger lift*, é essencial ter o controle sobre as diversas partes envolvidas no processo, entre elas a monitoração realizada sobre o pistão é de grande importância na otimização da retirada do fluido acumulado na coluna de produção (*tubing*). Na monitoração do pistão, em relação a sua chegada a superfície, o método mais utilizado tem como base teórica a indução magnética, que consiste em detectar a passagem do pistão pelo lubrificador (aumento da indução magnética) no momento de sua subida, quando o poço é “aberto” pela válvula pneumática. Por motivos técnicos, referentes à otimização do projeto, o sensor magnético escolhido anteriormente (*TripMate* da *OKC products*) foi substituído pelo produzido pela *Ferguson Beauregard*, que pode ser visualizado na figura 3.1. As especificações técnicas do sensor podem ser vistas na tabela 3.1



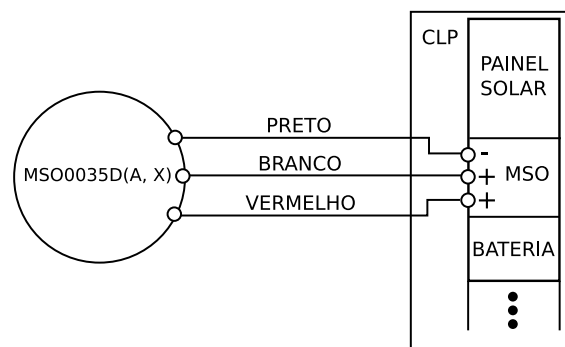
**Figura 3.1:** Sensor Magnético – Sensor-Inductive Style.



<i>Sensor-Inductive Style</i>	
<b>Produto (referência)</b>	MSO0035D (A, X) <i>Plunger Sensor Swicth.</i>
<b>Alimentação</b>	5-15 VDC.
<b>Corrente de repouso (Quiescente) a 6 VDC</b>	Aproximadamente 100 mA.
<b>Sinal de saída</b>	Aproximadamente um pulso momentâneo de 3/4 de segundo de duração (borda de decida)
<b>Saída elétrica</b>	Dreno do transistor FET. Requer um resistor <i>pull-up</i> de 10K-100K ohms.
<b>Montagem</b>	Lugar padrão para sensor de pistão produzido pela <i>Ferguson Beauregard</i> .
<b>Cabeamento</b>	3 vias brindadas, 0,71 mm de diâmetro de condutores.
<b>Certificação</b>	CSA, intrinsecamente seguro para classe I Divisão 1 Grupo D de localizações perigosas, com liquilift III e controles de auto-ciclo. Classe 1 Divisão 2 Grupo D caso contrário.

**Tabela 3.1:** Especificações técnicas do sensor magnético *Sensor-Inductive Style* da *Ferguson Beauregard*.

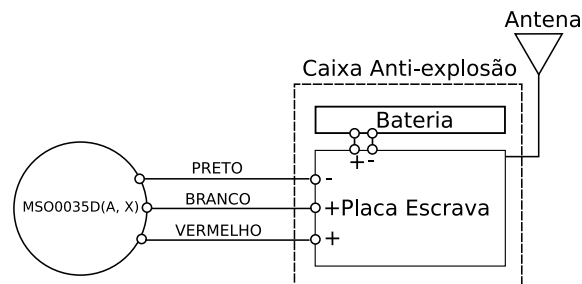
Atualmente, o sensor magnético é conectado ao CLP utilizando-se fios que passam subterraneamente em canos condutores. O diagrama de bloco que representa a implementação atual pode ser visto pela figura 3.2.



**Figura 3.2:** Sensor Magnético - Diagrama de bloco da implementação atual.

## 3.2 Instrumentação Sem Fio Proposta

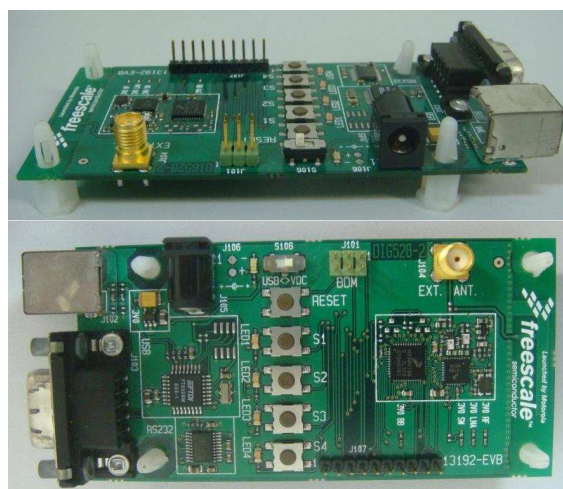
A instrumentação sem fio proposta será implementada utilizando-se uma caixa anti-explosão que englobará o módulo transmissor e a bateria. O sensor magnético, que se encontra próximo a caixa, será conectado ao conjunto por uma entrada apropriada. A caixa será instalada no lubrificador, próximo a posição atual do sensor. O módulo receptor (unidade mestre) ficará instalado junto ao CLP. O diagrama de blocos simplificado da caixa, módulo transmissor escravo, pode ser visualizado pela figura 3.3. Nesta figura, tendo como base a 3.2, o CLP é substituído pelo circuito transmissor sem fio.



**Figura 3.3:** Sensor Magnético - Caixa contendo o sensor magnético e o módulo transmissor.

### 3.2.1 Placa de Comunicação Sem Fio

Após pesquisa de mercado e de trabalhos anteriores [Campos 2006], o kit de desenvolvimento escolhido para a implementação foi o kit didático de comunicação *wireless* da *Freescalé™ Semiconductor*. O MC13193EVK é baseado no padrão IEEE 802.15.4 e possui uma implementação simplificada da camada MAC, *Simple MAC (SMAC)*. O kit pode ser visualizado na figura 3.4.



**Figura 3.4:** Placa de comunicação 13182 EVB do kit 13193 EVK

Algumas características da placa de comunicação podem ser visualizadas abaixo.

- Alimentação no intervalo de: 2,0 a 3,4 V.
- 16 canais.
- 0 dBm (Típica), até 3,6 dBm de máxima potência de saída.
- Simplificação do buffer de transmissão e recepção de pacotes com microcontroladores de baixo custo.
- Suporta 250 kbps, utilizando modulação O-QPSK, em canais de 2,0 MHz e codifica e decodifica *Full-Spread Spectrum* (espalhamento espectral completo) (Compatível com o padrão IEEE 802.15.4).
- Três modos de economia de energia:
  - < 1 microA sem corrente.
  - 3 microA típica, corrente modo *Hibernate*.
  - 40 microA típica, corrente modo *Doze*.
- Sensibilidade de recepção de -92 dBm (Típica) com até 1 % de perda de pacotes.
- Quatro comparadores internos de tempo estão disponibilizados para reduzir a requisição de recursos do microcontrolador.
- Faixa de Temperatura de Operação: -40 C a 85 C.

Este kit é apenas para a fase inicial de desenvolvimento e testes, uma vez que possui muitas funcionalidades extras por ser didático. Na fase final do projeto a placa será mais compacta por ter apenas as funcionalidades exigidas pelo projeto.

### 3.2.2 Especificação Técnicas do Sensor Magnético Sem Fio Proposto

Abaixo podemos observa as informações técnicas gerais do sensor magnético sem fio proposto no projeto (ver tabela 3.2), baseadas nas especificações do sensor magnético atual e no kit de comunicação sem fio, sendo as dimensões propostas apenas estimativas iniciais.

Especificações Técnicas	
Caixa	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Peso: 0.5Kg</li> <li>● Dimensões: 10,5 cm (largura) x 14,2 cm (altura) x 9 cm (comprimento).</li> </ul>
<i>continua na próxima página</i>	

<i>continuado da página anterior</i>	
<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Temperatura de Operação</b>	-40 C a 85 C
<b>Elétrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Saida: Dreno do transistor FET. Requer um resistor <i>pull-up</i> de 10K-100K ohms.</li> <li>● Corrente de repouso (Quiescente) a 6 VDC: Aproximadamente 0,1mA.</li> </ul>
<b>Alimentação e bateria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensor Magnético: Alimentação de 5 - 15 VDC</li> <li>● Caixa: Bateria recarregável de 3,6 VDC <i>lithium-ion</i></li> <li>● Painel Solar: Potência de 0,25 W</li> </ul>
<b>Operacional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensor Magnético             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Método: Utiliza a indução magnética para sentir a passagem do objeto metálico através da interface metálica ou não entre o objeto e o sensor, gerando um pulso momentâneo de 3/4 de segundo de duração, enviado para a placa de comunicação escrava, que, por sua vez, envia para a placa mestre, localizada junto ao CLP.</li> <li>– Montagem: Contato físico com a interface de sensoriamento. Manter-lo pressionado com o uso de um anel de borracha ou algum outro material para tal propósito.</li> </ul> </li> <li>● Comunicação             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Padrão IEEE 802.15.4</li> <li>– Simple MAC (SMAC)</li> <li>– Topologia Estrela</li> <li>– Alcance 50 metros em campo aberto</li> </ul> </li> </ul>
<i>continua na próxima página</i>	

<i>continuado da página anterior</i>	
<b>Especificações Técnicas</b>	
<b>Conexão</b>	Cabo: 3 vias blindadas, 0,71 mm de diâmetro de condutores
<b>Certificação</b>	CSA, intrinsecamente seguro para classe I Divisão 1 Grupo D de localizações perigosas, com liquilift III e controles de auto-ciclo. Classe 1 Divisão 2 Grupo D caso contrário.

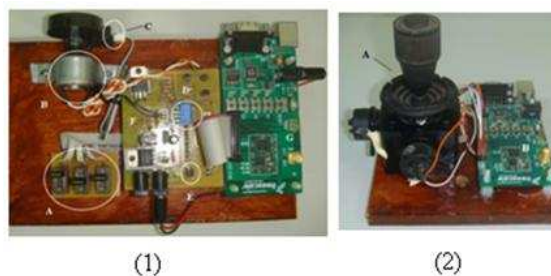
**Tabela 3.2:** Especificações técnicas do sensor magnético sem fio.

Com isso, temos o esboço inicial do projeto a ser implementado em etapas posteriores.

### 3.3 Testes Laboratoriais Gerais

Nesta etapa será apresentada a metodologia empregada para realização dos testes laboratoriais, considerando o funcionamento de todos os sensores e atuadores que estarão presentes na rede. Os testes foram realizados com a utilização de placas de circuito impresso com dispositivos que simulam o funcionamento de sensores e atuadores em uma planta real, com relação aos sinais lidos e de comando. Sendo o circuito impresso a interface de comunicação entre os dados fornecidos pelos dispositivos e as placas de comunicação sem fio escravas da aplicação. A idealização e implementação dos circuitos para os testes laboratoriais foram feitas pelos alunos de mestrado do projeto, com a participação dos demais componentes. Os testes serviram de base para os primeiros resultados laboratoriais do projeto [Oliveira et al. 2008], e serão brevemente expostos no próximo capítulo.

Duas montagens foram realizadas. Elas podem ser visualizadas abaixo (figura 3.5), seguida da descrição de seus componentes na tabela 3.3.



**Figura 3.5:** Circuitos criados para os testes desenvolvidos.

Nesta montagem, o componente que simula o comportamento do sensor magnético é o referenciado pela letra D, pois, assim como o sensor, ele funciona como uma chave *on/off*, simulando a detecção da passagem do pistão presente no processo.

Ainda como base para realização dos testes, foi realizada a implementação de um supervisor virtual simples junto à placa de comunicação mestre da planta, que simula

Legenda-Figura	Componente	Função
A-1	Três potenciômetros (0 a 2,5 V)	Ligados nas entradas analógicas do microcontrolador da placa de comunicação, simulam os sensores analógicos de pressão e vazão.
B-1	Um motor CC (corrente contínua)	Recebe um sinal <i>PWM</i> (Modulação por largura de pulso) da placa de comunicação, controlando sua velocidade, simulando o acionamento da válvula eletro-pneumática.
C-1	Um <i>encoder</i>	Monitora a velocidade do motor controlado com a contagem dos pulsos elétricos a partir do movimento rotacional do seu eixo.
D-1	Três chaves digitais <i>on/off</i> ( <i>dip switches</i> )	Coloca as entradas digitais em nível alto ou baixo.
E-1	Um sensor de temperatura	Aquisição da temperatura do ambiente.
F-1	Circuito impresso	Responsável pela adaptação dos sinais de entrada e saída presentes na comunicação do microcontrolador com os demais dispositivos.
G-1	Placa de comunicação (escrava)	Comunicar-se com a placa mestre, enviando os dados obtidos.
A-2	Manche com três potenciômetros	Para uso de uma segunda placa escrava. Simula também o envio de sinais de um dos sensores presentes na planta.

**Tabela 3.3:** Descrição dos componentes utilizados circuitos para testes figura 3.5.

a comunicação entre o CLP, que recebe os sinais da placa mestre, e a estação remota, contendo o supervisório real. O supervisório virtual foi feito em um microcomputador utilizando a ferramenta de programação *LABVIEW*. A comunicação entre a placa mestre e o supervisório implementado é feita via porta serial. Na tela do supervisório podem ser visualizadas todas as informações captadas e enviadas pelos dispositivos das placas escravas, como, por exemplo, as informações dos potenciômetros e do sensor de temperatura da primeira montagem. Assim como, a partir dele, pode se enviar informações para a placa escrava da montagem 1 no intuito de variar a velocidade do motor CC. O manche da segunda montagem também é responsável pela variação da velocidade do motor CC. A tela do supervisório virtual implementado pode ser vista na figura 3.6.

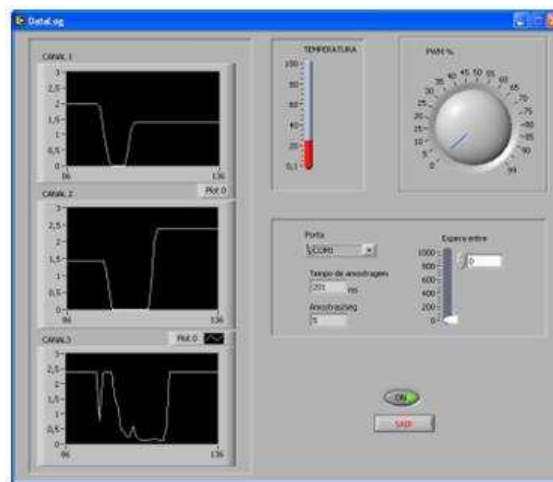


Figura 3.6: Supervisório implementado em Labview.

Com as duas montagens e o supervisório foi possível realizar uma série de testes. Em seguida será feita uma breve descrição dos mecanismos de economia de energia, troca de mensagens entre a placa mestre e a escrava e entre a placa mestre e o supervisório.

### 3.3.1 Economia de Energia nos Módulos de Comunicação Escravos

Sendo a otimização no consumo de energia um objetivo básico para qualquer aplicação sem fio, foi elaborada uma estratégia simples para economia de energia apenas nos módulos de comunicação escravos, uma vez que o módulo mestre da aplicação é alimentado pela mesma fonte (painel solar com baterias recarregáveis) que alimenta o CLP e o transmissor RF. Como estratégia, foram utilizadas funções contidas no microcontrolador, fornecidas pelo fabricante. Estas funções fazem com que o módulo transmissor entre em estado de *sleep* quando não estiver enviando ou recebendo mensagens. O kit de desenvolvimento utilizado disponibiliza duas funções de economia de energia, *hibernate* ou *doze*. No caso do projeto, a função utilizada foi a função *hibernate* com consumo típico de 3 microA.

### 3.3.2 Troca de Mensagens

O mecanismo de troca de mensagens nesta aplicação é feito considerando a comunicação entre:

- O mestre e os escravos;
- Os escravos e o mestre;
- O mestre e o supervisor.

O controle dos canais de comunicação utilizados, para a detecção e o gerenciamento das colisões que venham a ocorrer, foi feito utilizando o protocolo, já previsto pelo padrão 802.15.4, CSMA/CA (*Carrier sense multiple Access with collision avoidance*).

#### Comunicação entre o Mestre e os Escravos

A comunicação entre o mestre e os escravos é feita com o envio de um pacote em *broadcast*, ou seja, para todos os escravos, onde aquele cuja identificação contida no pacote corresponda à sua, responde ao comando de acordo com a sua função na rede, atuando em uma válvula ou lendo uma variável de processo. Esta comunicação é feita de forma sequenciada, levando em consideração o emprego da técnica de *polling*, apesar da difusão da mensagem ser em *broadcast*. O pacote enviado contém os seguintes campos: identificador de rede, identificador da placa escrava destinatária e a informação convertida em um sinal *PWM*, contendo o valor a ser empregado por um dos atuadores, por exemplo. Podemos observar pela figura 3.7 o diagrama mostrando a comunicação entre o mestre e o escravo.

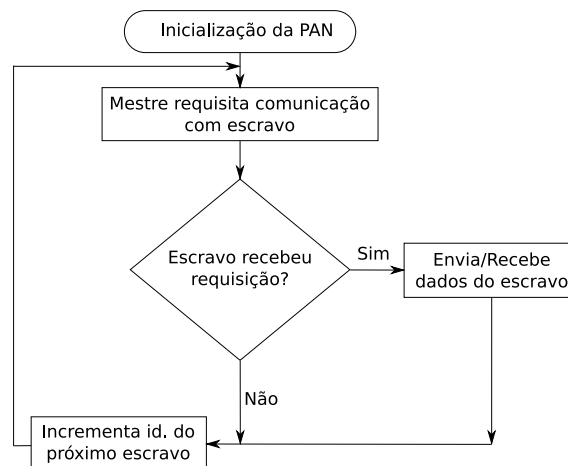


Figura 3.7: Comunicação entre mestre e escravo.



### Comunicação entre os Escravos e o Mestre

Nesta etapa, a placa escrava, cujo pacote foi destinado, realiza sua função na aplicação e retorna à placa mestre a devida resposta da requisição, por exemplo, a placa acoplada ao sensor magnético é requisitada a ligá-lo para aguarda a chegada do pistão, neste caso a placa escrava envia uma mensagem de confirmação de ligação do sensor. Podemos observa pela figura 3.8 o diagrama mostrando a comunicação entre o escravo e o mestre.

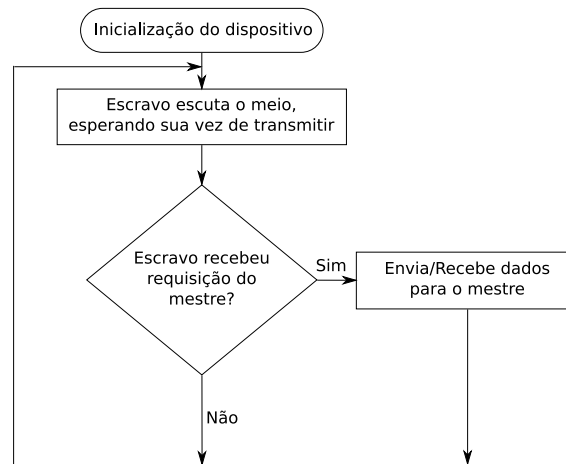


Figura 3.8: Comunicação entre escravo e mestre.

### Comunicação entre o Supervisório e o Mestre

A comunicação nesta etapa do processo é feita via porta serial. O mestre envia um pacote cujas informações contidas são referentes à última placa escrava que se comunicou durante o processo, nele contém os dados das leituras realizadas pelos sensores da placa escrava em questão. O supervisório, por sua vez, faz a leitura dos campos do pacote, dividindo-os no intuito de ter a informação referente à variável de processo lida pela placa. O resultado é mostrado na tela do supervisório na forma de gráficos, por exemplo, para a leitura dos potenciômetros na montagem 1. No caso de se desejar enviar alguma informação do supervisório para a aplicação, como por exemplo, alterar o *set point* da válvula simulada pela variação da velocidade do motor CC, o supervisório enviará apenas a porcentagem, sendo a placa mestre responsável por armazena este dado em um pacote, em forma de largura de pulso *PWM* (que é o que de fato manipula a velocidade do motor) e enviar para o destinatário. Neste caso, como a velocidade é a única variável controlado pelo supervisório, não é necessário se enviar o endereço da placa escrava que contém o motor, pois só existe uma no experimento. Caso existe-se outra variável possível de ser manipulada pelo supervisório, em outra placa escrava, bastaria o supervisório enviar, junto com o dado, o endereço da placa escrava, para a placa mestre. Podemos observa pela figura 3.9 o diagrama mostrando a comunicação entre o supervisório e o mestre.

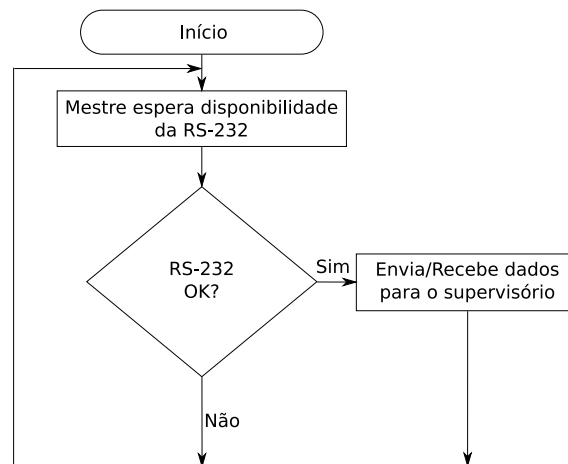


Figura 3.9: Comunicação entre o supervisor e o mestre.

### 3.4 Testes Laboratoriais Específicos

Nesta etapa serão mostrados os procedimentos feitos para os testes considerando apenas o funcionamento do sensor magnético na RSSF, objetivo deste trabalho. Tendo como base os testes anteriormente descritos, a metodologia com relação à comunicação entre a placa escrava, representante do sensor magnético, e placa mestre, representante do CLP, foi mantida. Porém, foi desenvolvido um algoritmo a parte, focando apenas a comunicação entre o sensor magnético e o CLP, e, para torna a demonstração mais prática, ainda foi feita a simulação da válvula de produção, agindo em conjunto com o sensor magnético.

#### 3.4.1 Descrição dos dispositivos e ferramentas computacionais utilizadas

Para esta simulação, foi utilizado um novo kit de desenvolvimento, e foi criado um novo supervisor virtual, focando a simulação do funcionamento, em conjunto, do sensor magnético, a válvula de produção e o CLP.

##### Kit de Desenvolvimento

O novo kit possui essencialmente as mesmas características do kit descrito e utilizado nos testes gerais, e pode ser visualizados nas figuras 3.10 (Placa mestre) e 3.11 (Placas escravas).

Cada uma das placas de comunicação presentes nas figuras 3.10 e 3.11 assumiu um papel diferente. A placa escrava com a etiqueta M (esquerda), assumiu o papel do sensor magnético. O LED 3, presente nela, indica que o sensor está ligado e, portanto, pronto para a detecção da chegada do pistão a superfície. Quando o pistão chega à superfície, o LED 4 é posto em nível alto, indicando a chegada. A placa escrava com a etiqueta V assumiu o papel da válvula produção. Quando a válvula está aberta, o LED 4 fica em nível alto. A placa mestre, contendo o display LCD, tem como objetivo realizar a comu-



**Figura 3.10:** Placa mestre utilizada nos testes específicos.

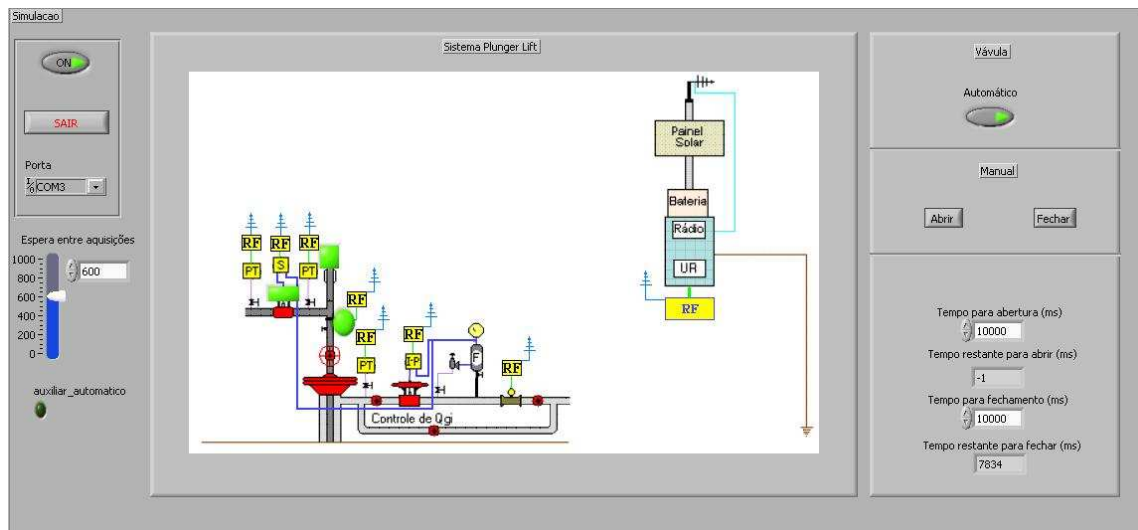


**Figura 3.11:** Placas escravas utilizadas nos testes específicos.

nicação entre as placas escravas e o supervisor. Nela, o LED 3 indica o estado da válvula de produção (Aberta – Nível alto), o LED 4 indica o estado do sensor magnético (Ligado – Nível alto) e o LED 2 indica a presença do pistão na superfície (Presente – Nível alto). Esses dados são enviados pelas placas escravas como mensagens de confirmação. Ainda com relação à placa mestre, a chave digital 1 (SW 1), quando acionada, é responsável pelo envio do pedido de abertura da válvula, seguido pelo de habilitação do sensor magnético. A chave digital 2 (SW 2), quando acionada, é responsável pelo pedido de fechamento da válvula de produção e desligamento do sensor magnético. A programação da estratégia de comunicação do kit de desenvolvimento foi feita utilizando a IDE, da *Freescale, CODEWARRIOR Development Studio*, versão 5.9.0, cuja linguagem utilizada é ANSI C.

### Supervisor Virtual

Para ilustrar o funcionamento do sistema, focando o sensor magnético e a válvula de produção, foi desenvolvido um supervisor virtual com o uso da ferramenta *LABVIEW*, versão 7. A tela do supervisor criado pode ser vista na figura 3.12.



**Figura 3.12:** Supervisório implementado para os estes específicos na comunicação do sensor magnético.

O sistema simulado pode ser ativado para funcionar em modo manual ou automático. No modo manual o operador pode abrir a válvula, o que ligará o sensor magnético, e fechar a válvula, o que desligará o sensor magnético, utilizando os botões indicados na figura 3.12. No modo automático, a válvula abrirá apenas depois de um determinado tempo apropriado, estabelecido pelo operador no campo, assim como só fechará, desligando o sensor magnético, depois de outro intervalo de tempo, também estabelecido pelo operador. O tempo de fechamento é contado a partir do momento em que for detectada a presença do pistão na superfície. No supervisório, também está presente uma figura ilustrativa do método plunger lift. Acima da válvula, do sensor magnético e do lubrificador, presentes na figura, existem LEDs que indicam o estado de cada um desses componentes, sendo o do lubrificador responsável por representar a chegada do pistão à superfície.

### 3.4.2 Comunicação entre o Supervisório, o Sensor Magnético e a Válvula

A estratégia de comunicação implementada visa assegurar que os comandos de abrir/fechar a válvula de produção e ligar/desligar o sensor magnético sejam sempre atendidos pelas placas de comunicação escravas juntas aos respectivos equipamentos. Sendo assim, para cada pedido realizado pela placa mestre é esperada uma mensagem de confirmação do cumprimento da ordem dada. Como na comunicação entre os dispositivo as mensagens são enviadas em broadcast, a identificação dos destinatários é feita com base nos dados enviados, um conjunto caracteres, onde cada dispositivo só responde a requisição caso reconheça o caractere presente no campo de dados do pacote.

**Supervisório ↔ Válvula**

Neste caso, ao ser realizado o pedido de abertura da válvula pelo operador, no supervisório, a placa mestre envia uma mensagem para a placa escrava contendo, no campo de dados do pacote, um caractere associado à função de abertura. A placa escrava ao receber a mensagem, realiza a abertura da válvula (LED 4 é posto em nível alto) e envia uma mensagem contendo também, no campo de dados, um caractere associado ao cumprimento da ordem. Enquanto a placa mestre não receber a mensagem de confirmação, esperando dentro de um intervalo de tempo de 1 segundo, será enviada outra requisição de abertura. Após certo número de tentativas de recebimento, uma mensagem pode ser enviada ao operador alertando sobre uma possível falha de operação.

**Supervisório ↔ Sensor magnético**

Após a chegada da confirmação da abertura da válvula, o mesmo procedimento, descrito na seção anterior, é realizado para que seja efetuada a ativação do sensor magnético. Porém, para os testes foi admitido que após a sua ativação, o mesmo indicara a chegada, simulada, do pistão após um intervalo tempo. Com a chegada do pistão, a placa escrava, associada ao sensor, envia uma mensagem contendo a informação de chegada do pistão à placa mestre, que, por sua vez, envia uma mensagem de confirmação de recebimento. E, da mesma forma que ocorre com a placa mestre, caso não receba a confirmação dentro do intervalo de 1 segundo é feita novo envio, até que a comunicação seja estabelecida. Os diagramas das figuras 3.13 e 3.14 representam a comunicação entre o supervisório, a válvula de produção e o sensor magnético.

No próximo capítulo serão mostrados os resultados dos testes gerais e específicos feitos com as montagens descritas acima, considerando a estrutura de troca de informações citadas.

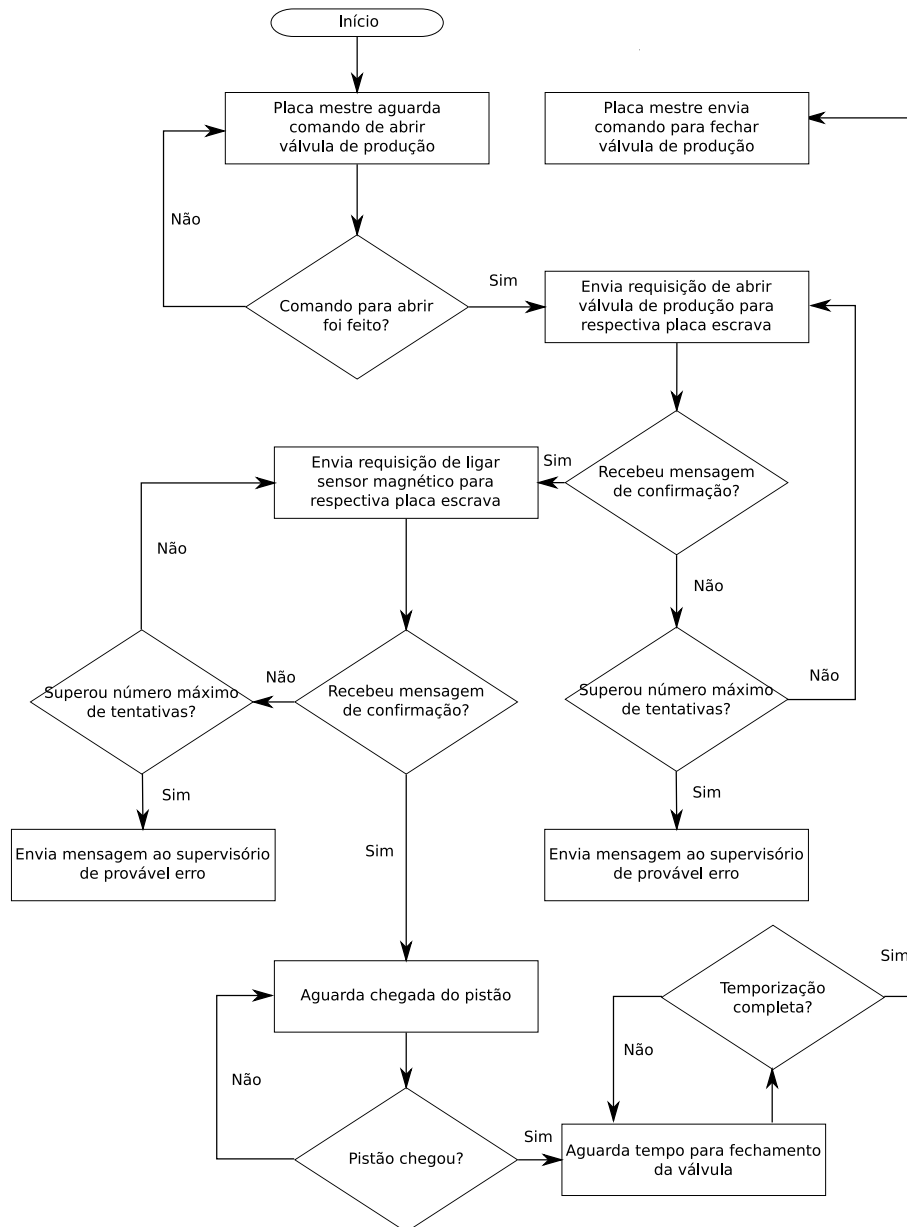


Figura 3.13: Diagrama de comunicação entre os dispositivos (momento de abertura).

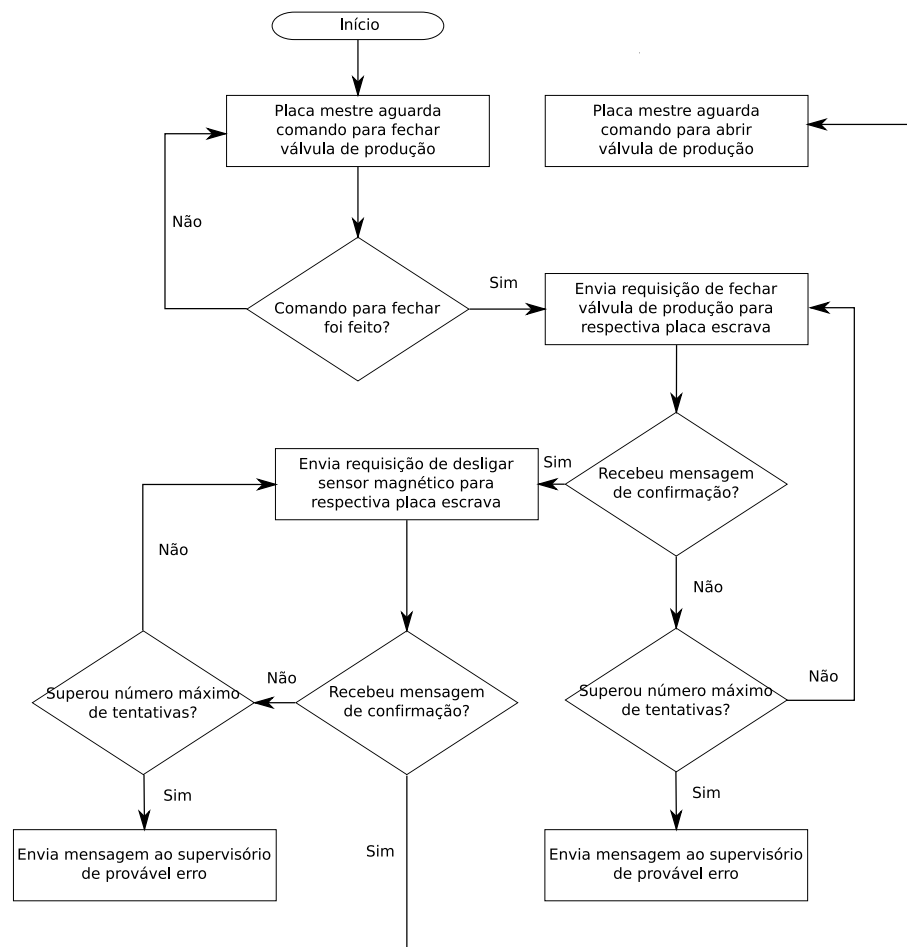


Figura 3.14: Diagrama de comunicação entre os dispositivos (momento de fechamento).

# Capítulo 4

## Resultados

Com a finalização do projeto do instrumento parcialmente completa, devido a atrasos relacionados a obtenção do sensor comercial, foi dado início aos testes laboratoriais com o objetivo principal de analisar o comportamento da rede sem fio com relação à conectividade, confiabilidade do enlace de comunicação e coexistência com outra tecnologia sem fio de forma mais ampla. Assim como também mostrar os resultados específicos com relação a implementação do algoritmo de comunicação para o sensor magnético sem fio simulado. Finalizando, será feita a análise com relação ao consumo do sensor magnético. Nesta etapa serão mostrados os resultados referentes aos seguintes testes:

- **Gerais:** coexistência das tecnologias sem fio LR-WPAN IEEE 802.15.4 e IEEE 802.11b e teste de conectividade com relação aos pacotes enviados em ambiente externo sem obstáculo e pacotes enviados em ambiente interno com obstáculo.
- **Específicos:** funcionamento da comunicação do sensor magnético com a placa mestre, consumo de energia.

Os resultados gerais realizados tiveram a participação do grupo de pesquisa e podem ser melhor visualizados, de maneira mais detalhada, no trabalho de [Oliveira 2009].

### 4.1 Resultados Gerais

#### 4.1.1 Coexistência entre o LR-WPAN IEEE 802.15.4 e IEEE 802.11b

A importância deste teste se deve principalmente ao fato da crescente utilização de protocolos de comunicação sem fio, como o IEEE 802.11b, para o acesso a redes internas, intranet, ou até a rede mundial de computadores, Internet. Não é difícil acessar a rede mundial de onde quer que se esteja, bastando apenas ter um *modem* de comunicação sem fio conectado a um *notebook*, por exemplo.

Este teste mostra como se comportaria a rede (IEEE 802.15.4) em campo caso, próximo a sua instalação, fosse feita uma conexão com a Internet utilizando o protocolo IEEE 802.11b.



Para os testes, foi utilizado o canal 15, que não interfere nas transmissões do padrão IEEE 802.11b e vice-versa, na frequência de 2.425MHz e com potência máxima em todos os transceptores. Poderiam também ser utilizados os canais 20, 25 e 26.

Como metodologia de referência foi utilizada a mesma observada em [Petersen et al. 2007] onde o *access point* (ponto de acesso) da rede IEEE 802.11b foi mantida a 1 metro da rede IEEE 802.15.4, usada no projeto, em ambiente externo, livre de obstáculos, como de fato poderá ser vista em seu real funcionamento em campo. O transceiver mestre da rede IEEE 802.15.4 enviou, a cada 1 ms, um pacote representando uma ordem para se realizar uma leitura a uma das placas escravas, totalizando 5.000 pacotes transmitidos. Ao mesmo tempo, foi feito um *download* na rede IEEE 802.11b, utilizando um link de conexão à internet de 512Kbps. No total, foram realizados 10 testes semelhantes, onde, em cada, os resultados foram recolhidos e analisados comparativamente.

Conforme pode ser visto em [Petersen et al. 2007], quando a rede IEEE 802.11b era habilitada, posta em operação, gerou-se um pouco de interferência no tráfego da rede IEEE 802.15.4, na faixa de -30 dBr, o que ocasionou pequena perda de pacotes, o que não interferiu de maneira significativa no funcionamento da rede, que aumentou o número de transmissões para conter as perdas, aumentando moderadamente a sua latência. Nos nossos testes, as perdas de pacotes enviados chegaram a menos de 1% do número de pacotes transmitidos, podendo ser visto a importância da escolha do canal 15. Quando a rede IEEE 802.11b era desabilitada, a rede IEEE 802.15.4 voltava a ficar estável, diminuindo a sua latência. Não houve queda de nenhuma das duas redes durante os testes e todos os pacotes perdidos foram reenviados com sucesso.

#### 4.1.2 Pacotes Enviados em Ambiente Externo Sem Obstáculo

Na análise de conectividade e tráfego de rede é essencial o estudo referente ao comportamento da rede quando exposta a situações semelhantes às que podem ocorrer em campo e a outras inusitadas. Nesta etapa serão mostrados os resultados referentes à simulação do funcionamento da rede em campo aberto, sem obstáculos.

O transceptor mestre enviou a cada 1 ms um pacote com ordem de leitura à placa escrava, sendo realizada a transmissão de 5.000 pacotes no total. A distância também foi outra variável no teste. Inicialmente a distância entre as placas, mestre e escrava, era de 5 metros. O acréscimo, a cada três medições, foi, inicialmente, de 5 metros e, posteriormente, de 10 metros. A distância final foi de 50 metros. As placas estavam a, aproximadamente, 1,30 metros do solo com as antenas direcionadas uma para a outra, em visada direta.

A tabela 4.1 mostra a potência média do sinal, e a porcentagem de pacotes perdidos para cada distância estabelecida para medição.

Distância (m)	Potência média (%)	Pacotes perdidos (%)
5	68,60	0,08
10	67,24	0,16
20	42,60	0,30
30	39,96	0,44
40	29,40	0,59
50	21,20	0,73

**Tabela 4.1:** Medições em ambiente externo com visada direta de 5 a 50 metros.

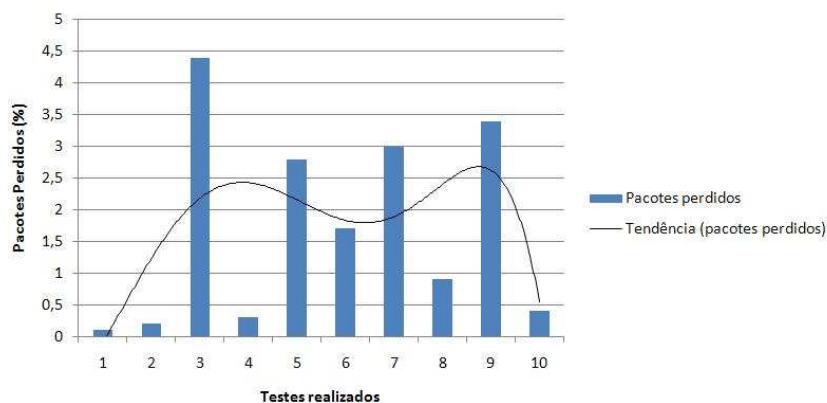
A potência média foi calculada tendo como base o valor obtido pela utilização de funções disponibilizadas pelo kit de desenvolvimento, que indicam o valor da potência do sinal transmitido ou recebido. Para o cálculo, foi considerado a variação não linear da potência, que diminui com o inverso do quadrado da distância das placas transceptoras.

### 4.1.3 Pacote Enviados em Ambiente Interno Com Obstáculos

Essa etapa de testes teve o intuito de mostrar como a rede se comporta quando, entre as placas de comunicação, existem obstáculos, como pessoas, paredes, armários, computadores e afins. Os testes foram realizados no LAMP-UFRN. Para a distância houve pouca variação (5, 10 e 16 metros) proporcional a quantidade de obstáculos.

Foram utilizados 3 pontos para medição. Sendo de, aproximadamente, 5, 10 e 16 metros a distância entre as placas para cada ponto, respectivamente. Para cada ponto foram realizadas 10 medições onde se enviou, aproximadamente, 5.000 pacotes por minuto.

Para os dois primeiros pontos medidos, cujo as distâncias eram de 5 e 10 metros, respectivamente, não houve significativa perda de pacotes, mesmo com o número de obstáculos presentes. No terceiro ponto de medição, o número de pacotes perdidos já poderia ser considerado um fator prejudicial à rede. Na figura 4.1 pode ser visto o resultado da porcentagem de pacotes perdidos para as 10 medições realizadas no terceiro ponto.



**Figura 4.1:** Testes realizados com distância de 16 metros em ambiente interno com obstáculos.

No terceiro ponto, além da distância, as placas de comunicação foram submetidas

a fortes perturbações com relação a presença de obstáculos, o que explica as variadas porcentagens de pacotes perdidos na figura 4.1.

Fazendo um comparativo entre os testes realizados nesta sessão e na seção anterior podemos observar que a presença de obstáculos interfere consideravelmente na rede, pois, em ambiente externo as perdas só começaram a ocorrer a distâncias bem superiores a 50 metros, metade da distância máxima garantida pelo protocolo IEEE 802.15.4, e em ambiente interno com obstáculo, a partir de 16 metros já se pôde observar alguma perda. Isso pode ser explicado pela não presença de um roteamento de rede, uma vez que, no nosso projeto, todos os dispositivos previstos, com exceção do mestre, vão funcionar como dispositivos de borda, cujo funcionamento é limitado, não realizando funções de roteamento entre eles. Com uma futura implantação de estratégias de roteamento na rede, a questão relativa à presença de obstáculos poderia ser controlada, não interferindo de maneira considerável no funcionamento da rede.

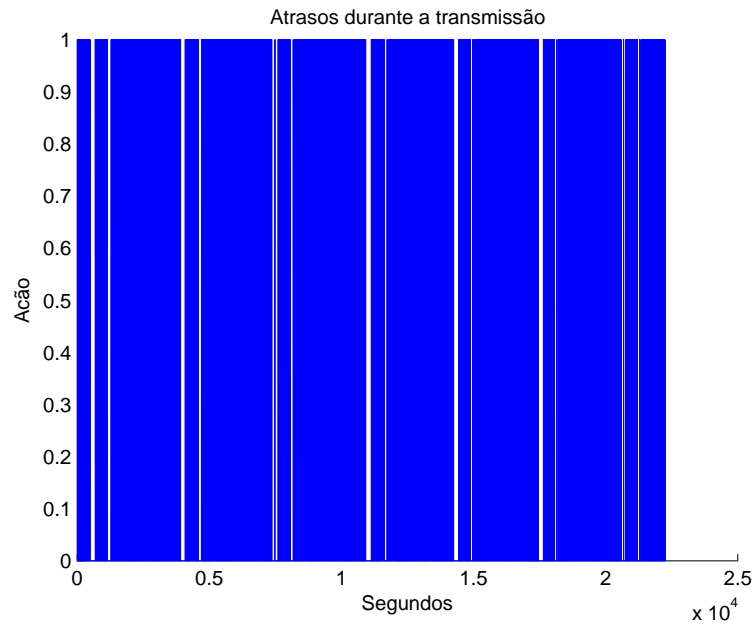
## 4.2 Resultados Específicos

### 4.2.1 Atrasos Durante Comunicação

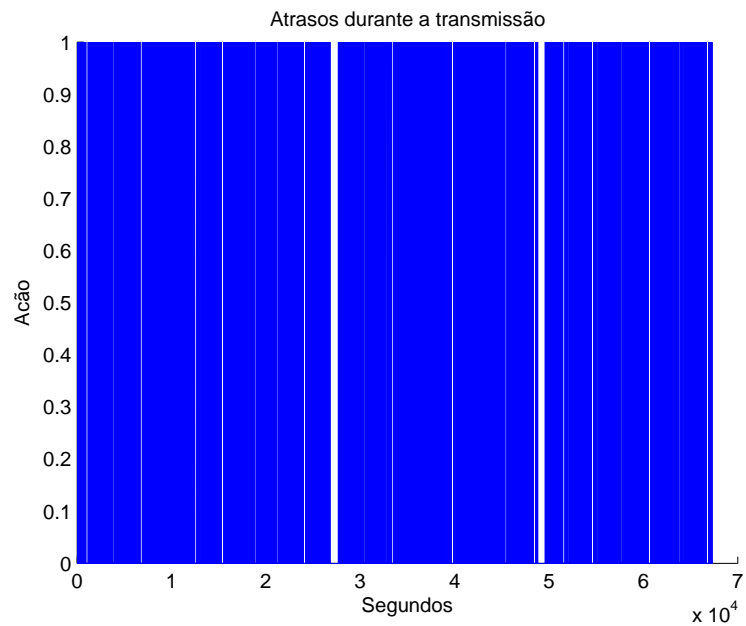
No intuito de verificar os atrasos da comunicação entre os transceptores mestre e escravo, implementados com a estratégia de comunicação definida para o sensor magnético, o sistema foi executado em modo automático, durante 6 horas e em seguida durante 18 horas. Os testes foram realizados dentro do laboratório 16 do LECA-DCA.

Durante o teste de 6 horas, o ciclo de funcionamento foi, para efeitos práticos, definido da seguinte forma: 10 segundos para a abertura da válvula e ligação do sensor (pressurização), 10 segundos para a chegada do pistão e 10 segundos para o fechamento da válvula (produção). As placas ficaram a distância de 5 metros uma da outra, simulando a distância real em campo.

Para o teste de 18 horas, o ciclo de funcionamento foi definido da seguinte forma: 1 minuto para a abertura da válvula e ligação do sensor (pressurização), 10 segundos para a chegada do pistão e 30 segundos para o fechamento da válvula (produção). Os gráficos das figuras 4.2 e 4.3 mostram o comportamento da comunicação durante as 6 e 18 horas de execução, respectivamente.



**Figura 4.2:** Atrasos durante 6 horas de execução.



**Figura 4.3:** Atrasos durante 18 horas de execução.

Nos gráficos, o eixo horizontal representa o tempo em segundos e o vertical a ação de abrir a válvula que indica o início do ciclo de funcionamento, quando um novo ciclo é iniciado o valor para aquele segundo é dito como “1” no eixo vertical, para efeito de coleta de dados. Os espaços descontínuos dos gráficos representam os momentos em

que a comunicação entre os transceptores apresentou atraso. Podemos observar que as perdas não alteram o funcionamento do método de maneira significativa em campos com longos tempos durante as etapas do ciclo de produção, mas são passíveis de estudos para que a estratégia possa se adequar a poços com diferentes características. Estes atrasos podem ocorrer por diversos motivos, como: interferência com outras redes, tráfego de pessoas e outros obstáculos presentes no ambiente, que não existiriam em campo. Outro motivo que pode explicar os atrasos durante a comunicação é a interferência devido ao efeito multicaminho, que surge em canais com enfraquecimento seletivo de frequência, por meio do qual o sinal do receptor contém um ou mais ecos de cada pulso transmitido. Finalizando esta etapa, foram coletados os tempos de atraso durante o período de 6 horas de funcionamento. O gráfico 4.4 mostra o comportamento da comunicação durante as 6 horas de execução com relação aos atrasos existentes.

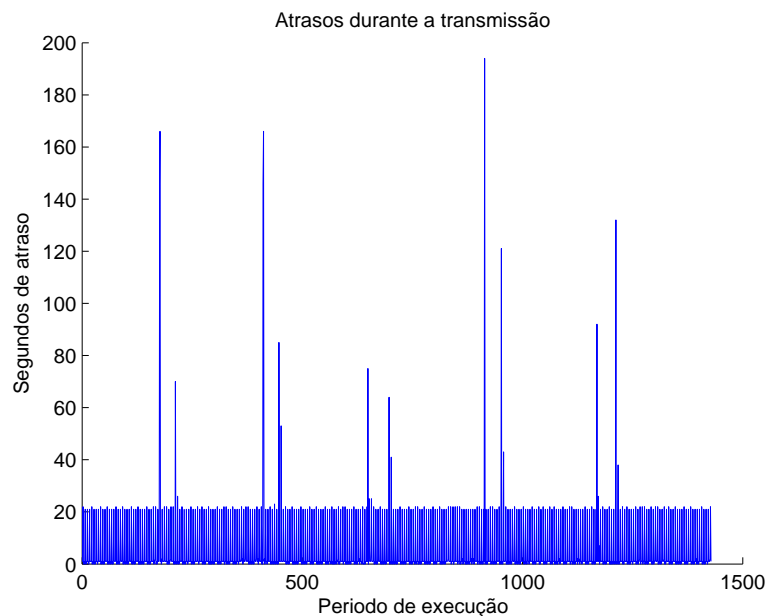


Figura 4.4: Tempos de atraso durante 6 horas de execução.

### 4.2.2 Consumo de Energia do Sensor Magnético

O estudo do consumo de energia na instrumentação sem fio do sensor magnético é muito importante, uma vez que o instrumento será alimentado por baterias. Este estudo será feito tendo como base o consumo do sensor escolhido para este projeto, *Sensor-Inductive Style*. Com relação à fonte de alimentação, para aplicação serão utilizadas baterias comerciais do tipo *Ni-Mh* de 2.800mAh cada. Para a comparação entre a implementação atual, com fio, e a deste projeto, sem fio, será considerado o consumo diário de ambas as aplicações.

O sensor, em uma aplicação típica, é alimentado com 0,1mA continuamente. Considerando o uso de apenas uma bateria, a carga será de 2.500mAh. Logo, a duração da bateria será de  $2.500\text{mAh}/0,1\text{mA} = 25.000\text{h}$ , o que equivale a, aproximadamente, 2,85

anos. Considerando a estratégia definida para a comunicação entre o transceptor mestre e escravo, onde o sensor não permanece ligado continuamente, podemos observar que, para um poço, com suas características próprias de produção, onde o sensor fica ligado, em média, conforme observado durante visita técnica, por apenas 5 minutos a cada hora, o consumo seria 12 vezes menor, ou seja, o tempo de duração das baterias seria de, aproximadamente, 34,24 anos. Para o sensor escolhido para a aplicação, os resultados não seriam tão impactantes, mas para outros sensores, com maior consumo, como o caso do sensor *Tripmate* da *OKC Products*, cujo o consumo é de 2A, sua permanência desligado teria um impacto relevante. Com isso podemos afirmar que o consumo será sempre reduzido de maneira significativa.

### 4.2.3 Consumo do Sensor Magnético Com A Placa Transceptora

Conforme visto no trabalho de [Oliveira 2009], o consumo total do transceptor em um ciclo de funcionamento é de 0,09mA, o que gera uma autonomia de 3,17 anos. Considerando a presença do sensor magnético, permanecendo ligado por apenas 5 minutos, a cada hora, consumindo 0,0083mA, temos que o consumo total do transceptor, por ciclo de funcionamento, será de 0,0983mA, logo, a duração da bateria, considerando o consumo do conjunto (transceptor + sensor magnético), será de 2,9 anos. A adição de mais uma bateria dobraria a autonomia do sistema.

# Capítulo 5

## Conclusões

Após os testes laboratoriais da rede e a análise dos seus resultados podemos concluir a viabilidade do projeto com relação ao comportamento da rede em campo. Porém, o projeto ainda é passível de melhorias com relação à comunicação entre o sensor magnético e o dispositivo mestre, no intuito de encontrar as possíveis causas dos atrasos existentes, para que a estratégia de comunicação se adeque a poços com diferentes características.

No que diz respeito ao consumo de energia, é observado que a solução sem fio não representa um grande aumento nos gastos com relação às fontes de alimentação, pois, os dispositivos (transceptores), responsáveis pela comunicação entre os sensores, atuadores e o CLP, possuem baixo consumo de energia. Em estudos futuros, os dispositivos serão submetidos a diferentes situações rigorosas de funcionamento, no intuito de verificar pontos críticos com relação ao consumo de energia.

Com a adaptação do projeto de comunicação sem fio a um campo real de produção, em fases posteriores, mais testes poderão ser realizados no intuito de evidenciar as melhorias que a implementação trará com relação aos gastos envolvidos durante as etapas de instalação, supervisão e manutenção dos campos com o método plunger lift, aumentando a qualidade do processo.

# Glossário

## Abreviações

ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CSMA-CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
DCA	Departamento de Engenharia de Computação e Automação
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EVB	<i>Evaluation Boards</i>
EVK	<i>Evaluation Kit</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
LECA	Laboratório de Engenharia de Computação e Automação
LQI	<i>Link Quality Indication</i>
LR-WPAN	<i>Low-rate Wireless Personal Area Network</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PHY	<i>PHYSical Layer</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SMAC	<i>Simple Medium Access Control</i>
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UM	Unidade Mestre
UR	Unidade Remota
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UWB	<i>Ultra Wide Band</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>



## Referências Bibliográficas

- Backer, Nick (2006), Zigbee and bluetooth: Strengths and weaknesses for industrial applications, *em* 'Relatório técnico AN965, Microchip Technology Inc'.
- Baruzzi, José O. A. (1994), Modelagem do plunger lift convencional, *em* 'Dissertação de mestrado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.'
- Beauregard, E. & Paul L. Ferguson (1982), Introduction to plunger lift: Applications, advantages and limitations, *em* 'Society of Petroleum Engineers of AIME'.
- Campos, Carlo F. P. S. (2006), Estudo e especificação de um sistema de instrumentação para unidades de elevação de petróleo utilizando tecnologia sem fio, *em* 'Dissertação de mestrado, PPgEE/UFRN'.
- Denis, Everson (2004), Avaliação da tecnologia bluetooth para transmissão de vídeo em tempo real com qualidade de serviço (QoS), *em* 'Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.'
- Flowers, D., K. Otten & N. Rajbharti (2006), Microchip stack for the zigbee protocol, *em* 'Relatório técnico AN965, Microchip Technology Inc'.
- FREESCALE (n.d.), 'MC13193 Evaluation Kit'. Acessado em 03 de Junho de 2008.  
**URL:** [www.freescale.com](http://www.freescale.com)
- Galvão, Judson Carlos Cardoso (2008), Instrumentação sem fio aplicada ao método plunger lift, *em* 'Dissertação de mestrado, PPgEE/UFRN'.
- Gessinger, A. K. & C. H. Hennig (2005), Zigbee – conectividade wireless para automação e controle, *em* 'Congresso ISASHOW/2005, São Paulo-SP'.
- IEEE (2006), 'IEEE 802.15.4 – Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPANs)'.  
**URL:** <http://standards.ieee.org/getieee802/>
- Langston, Leslie V. (2003), The lease pumper's handbook, *em* 'The commission on marginally producing oil and gas wells of Oklahoma', pp. 5B-1 – 5B-6.

- Oliveira, Felipe D. M. (2009), Desenvolvimento de um software de comunicação sem fio aplicado à instrumentação de unidade de elevação de petróleo tipo plunger lift, *em* 'Dissertação de mestrado, PPGEE/UFRN'.
- Oliveira, Felipe D. M., J. D. Fernandes, R. S. Semente, H. T. M. da Silva, A. D. Doria Neto, L. A. H. G. de Oliveira & A. O. Salazar (2008), Redes de sensores sem fio utilizando o padrão IEEE 802.15.4 em unidades de elevação de petróleo com o método plunger lift, *em* 'XIII Congreso Internacional de Telecomunicaciones SENACITEL 2008, Universidad Austral de Chile – Instituto de Electricidad y Electrónica – Valdivia – Chile.'
- Petersen, S., P. Doyle, S. Vatlan, C. S. Aasland, T. M. Andersen, & D. Slong (2007), Requirements, drivers and analysis of wireless sensor network solutions for the oil & gas industry, *em* 'Institute of Electrical and Electronic Engineers', pp. 219, 226.
- Zheng, L. (2006), Zigbee sensor network in industrial applications, *em* 'R&D Headquarters, Yamatake Corporation, Fujisawa, Japan'.