



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ELETROMECAÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MONITORAMENTO REMOTO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA
MINERAÇÃO**

Leonardo Augusto Resende Goulart

ARAXÁ

2015

Leonardo Augusto Resende Goulart

**MONITORAMENTO REMOTO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA
MINERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura
Coorientadores: Prof. Carlos Renato Nolli
Prof. Dr. Domingos Sávio Resende
Prof. Marcus Vinícios Andrade Silva

ARAXÁ

2015

Leonardo Augusto Resende Goulart

**MONITORAMENTO REMOTO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS NA
MINERAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Automação Industrial.

Data de aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura (Orientador)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Me. Alexander Martin Silveira Gimenez
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Esp. Francisco de Assis Cipresso
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades concedidas.

Aos meus pais, pelos ensinamentos que me acompanharão por toda a vida.

A todos os professores do CEFET-MG/Campus Araxá, pelo conhecimento que me foi passado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Kleber Lopes Fontoura, e aos meus coorientadores, Carlos Renato Nolli, Domingos Sávio de Resende e Marcus Vinícios Andrade Silva, pelas observações, pela paciência e pelo constante apoio técnico durante todo o trabalho.

Agradeço, também, a Michelle Cintra Abud, pelo incentivo e pela vontade de ver este projeto em funcionamento.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado.

O mundo é um lugar perigoso de se viver,
não por causa daqueles que fazem o mal,
mas sim por causa daqueles que observam
e deixam o mal acontecer.

Albert Einstein

RESUMO

GOULART, Leonardo Augusto Resende. *Monitoramento remoto de poços tubulares profundos na mineração*. 2015. 83f. Dissertação TCC (Graduação em Engenharia de Automação Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2015.

Na mineração, o sistema de rebaixamento do nível de água subterrânea de uma mina é utilizado para viabilizar o desenvolvimento da lavra, reduzindo os riscos geotécnicos e minimizando os transtornos operacionais como trabalhos em áreas inundadas. Existem diversos métodos para a realização do rebaixamento do nível de água. No caso de minas em cava fechada, normalmente, usam-se poços tubulares profundos associados a um sistema de *sump* (tanques que fazem a coleta de água pluvial da mina). Os poços, frequentemente, são construídos em pontos geologicamente estratégicos e ao longo do desenvolvimento da mina. Nem sempre são acessíveis, dependendo da dinâmica de avanço das frentes de lavra e vias de acesso da mina. A necessidade de monitorá-los é imprescindível não só por uma questão de outorga (legislação), mas também por uma questão operacional da própria mina, uma vez que as falhas de monitoramento podem gerar longos períodos de paradas do sistema de bombeamento, fazendo com que o nível de água subterrânea volte a subir, criando transtornos operacionais às atividades de lavra. Atualmente, nas mineradoras da cidade de Araxá, faz-se o monitoramento da vazão e do funcionamento dos poços de forma manual e diária, que acarretam alguns transtornos como: demanda de tempo do operador, erros durante a coleta dos dados, dificuldade ou mesmo falta de acesso ao poço, entre outros. Este projeto tem como foco o monitoramento remoto desses poços visando diminuir/eliminar esses problemas, trazendo confiabilidade e controle simultâneo. A telemetria proposta utiliza dispositivos radiotransmissores com padrão *ZigBee*, a plataforma de prototipagem *Arduino* e aplicativo de supervisor a partir do *software Microsoft Visual Studio*.

Palavras-Chave: *ZigBee*. Telemetria. Poços Tubulares. *Arduino*.

ABSTRACT

GOULART, Leonardo Augusto Resende. *Remote monitoring of deep wells in mining*. 2015. 83p. Dissertation (Degree in Control Engineering and Industrial Automation) - Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Araxá, MG, 2015.

In mining, the kneeling system of underground water level of a mine is used to enable the development of mining, geotechnical reducing risks and minimizing operational disruptions such as work in flooded areas. There are several methods of achieving the lowering of the water level. In the case of mines closed cava usually use up deep wells associated with a sump system (tanks that collect rainwater from the mine). The wells often are constructed in geologically strategic points along the mine development. They are not always available, depending on the progress dynamics of mining fronts and mine access roads. The need to monitor them is essential not only for the sake of granting (legislation), but also by an operating point of the mine itself, since the fault monitoring can generate long periods of pumping system stops, causing the groundwater level to rise again, creating operational disruptions to mining activities. Currently, the mining of the city of Araxá are monitoring the flow and operation of wells manual and daily, which cause some inconvenience as operator time demand, errors during data collection, difficulty or even lack access to the well, among others. This project focuses on remote monitoring these wells order to reduce/eliminate these problems, bringing reliability and simultaneous control. Telemetry proposal uses radio devices with ZigBee standard, the Arduino prototyping platform and supervisory application from Microsoft Visual Studio software.

Keywords: ZigBee. Telemetry. Wells. Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Avanço de lavra Vale Fertilizantes	18
Figura 2 – Abertura de trincheiras para drenagem e condução de água aos <i>sumps</i>	19
Figura 3 – Bombeamento de água subterrânea através de poço tubular profundo.....	19
Figura 4 – Poços tubulares profundos construídos em aquífero fraturado e sedimentar.....	200
Figura 5 – Transmissor de ondas do Padre Roberto Landell de Moura	244
Figura 6 – Esquemas de modulações analógicas e digitais	255
Figura 7 – Sinal da modulação AM.....	256
Figura 8 – Sinal da modulação FM	266
Figura 9 – Modulações digitais	277
Figura 10 – Representação de um sinal com modulação ASK binário	28
Figura 11 – Modulação B-FSK	28
Figura 12 – Exemplo de modulação B-PSK.....	29
Figura 13 – Exemplo básico de um sinal DSSS	30
Figura 14 – Transmissor e receptor do sinal DSSS-BPSK.....	30
Figura 15 – Espectro eletromagnético e como ele é utilizado na comunicação	31
Figura 16 – Áreas de aplicação das tecnologias sem-fio.....	35
Figura 17 – Rede <i>Wi-Fi</i>	36
Figura 18 – Empresas que fazem parte da <i>ZigBee Alliance</i>	38
Figura 19 – Topologia em estrela	39
Figura 20 – Topologia em árvore	39
Figura 21 – Topologia malha	39
Figura 22 – Principais tecnologias sem-fio para automação	40
Figura 23 – Painel usado na supervisão de processo antes dos <i>softwares</i> supervisórios	42
Figura 24 – Interface gráfica de um supervisor.....	43
Figura 25 – Protótipo do projeto de monitoração de poços tubulares	44
Figura 26 – Características da família <i>XBee</i>	45
Figura 27 – Modelos <i>XBee-PRO 900HP (S3B) DigiMesh</i>	46
Figura 28 – Topologia ponto-a-ponto.....	47
Figura 29 – Topologia ponto-multiponto	47
Figura 30 – Topologia em malha.....	48
Figura 31 – Posição física dos pinos módulo <i>XBee</i>	48
Figura 32 – Descrição das funções dos pinos do módulo <i>XBee</i>	49

Figura 33 – Modo de comunicação transparente (AT).....	50
Figura 34 – Formato do pacote de dado API.....	50
Figura 35 – Nomes e valores do pacote API.....	51
Figura 36 – <i>Software</i> de configuração dos rádios.....	52
Figura 37 – <i>XBee Explorer Dongle</i>	53
Figura 38 – Conector <i>pig tail</i>	53
Figura 39 – Antena omnidirecional <i>Hyperlink 2.4Ghz HGV2409U</i> utilizada.....	54
Figura 40 – Comunicação modo transparente	54
Figura 41 – <i>Arduino Uno R3</i> (frente e verso).....	55
Figura 42 – IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado do <i>Arduino</i>)	56
Figura 43 – Placa <i>XBee Shield</i>	57
Figura 44 – Sistema de interface e aquisição de dados	57
Figura 45 – <i>Microsoft Visual Studio 2010</i>	58
Figura 46 – Diagrama de acionamento de um motor utilizando uma <i>soft starter</i> WEG.....	59
Figura 47 – Medidor de vazão eletromagnético, diagrama de ligação saída de 4 a 20 mA	60
Figura 48 – Hidrômetro	60
Figura 49 – Emissor de pulso (<i>Sensor Cyble</i>)	60
Figura 50 – Simulador de sinais	62
Figura 51 – Transmissão e recepção em modo transparente, <i>notebook</i> à direita	63
Figura 52 – Transmissão e recepção em modo transparente, <i>notebook</i> à esquerda	64
Figura 53 – Função <i>discovery radio devices</i>	65
Figura 54 – Configuração remota dos módulos.....	65
Figura 55 – Nome e função dos dispositivos em modo API.....	66
Figura 56 – Dados recebidos da porta serial do <i>Arduino</i>	66
Figura 57 – Escolha da porta serial do aplicativo de supervisão.....	67
Figura 58 – Sinais monitorados pelo aplicativo	67
Figura 59 – Protótipo de aquisição dos sinais de campo.....	68
Figura 60 – Teste de alcance em área urbana.....	69
Figura 61 – Sistema de aquisição de dados instalado em uma mina.....	69
Figura 62 – Instalação da antena no poço.....	70
Figura 63 – Instalação da antena do <i>XBee</i> coordenador.....	70
Figura 64 – Sistema de aquisição de dados e PP-02 dentro da caminhonete	71
Figura 65 – Mirante da mina F4 (teste do sistema de monitoramento).....	71
Figura 66 – Distância entre dispositivos mirante e PP-01.....	72

Figura 67 – Poço instalado na cota mais baixa.....	72
Figura 68 – Distância entre o PP-01 e a cota mais baixa da mina.....	73

LISTA DE SIGLAS

ABAS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM: *Amplitude Modulation* (Modulação por Amplitude)

ANA: Agência Nacional de Águas

API: *Application Programming Interface*

ASK: *Amplitude Shift-Keying* (Modulação por Chaveamento de Amplitude)

AT: Modo Transparente

B-FSK: *Binary Frequency Shift-Keying*

B-PSK: *Binary Phase Shift Keying*

CBH ARAGUARI: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

CLPs: Controladores Lógicos Programáveis

cmdID: identificador de comando

CPRM: Serviço Geológico do Brasil

CPU: *Central Processing Unit* (Unidade Central de Processamento)

DSSS: *Direct Sequence Spread Spectrum* (Espalhamento Espectral por Sequência Direta)

FCC: *Federal Communications Commission* (Comissão Federal de Comunicações)

FH-CDMA: *Frequency Hopping - Code Division Multiple Access*

FFD: *Full Function Device*

FM: *Frequency Modulation* (Modulação por Frequência)

FSK: *Frequency Shift Keying* (Modulação por Chaveamento de Frequência)

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

IDE: *Integrated Development Environment* (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IHM: Interface Homem Máquina

IL: Lista de Instruções

ISO: *International Standards Organization* (Organização Internacional de Normatização)

ISM: *Industrial, Scientific, Medical*

ITU-R: *International Telecommunication Union Radiocommunication Sector*

LAN: *Local Area Network* (Rede de Área Local)

LI: Licença de Instalação

LO: Licença de Operação

LP: Licença Prévia

M-PSK: *Multiple Phase Shift Keying*

n.a: nível de água

OSI: *Open Systems Interconnection* (Interconexão de Sistemas Abertos)

PAN: *Personal Area Network* (Rede de Área Pessoal)

PC: *Personal Computer* (Computador Pessoal)

PDA: *Personal Digital Assistant* (Assistente Pessoal Digital)

PIB: Produto Interno Bruto

PM: *Phase Modulation* (Modulação por Fase)

PN: *Pseudo Noise* (Pseudoaleatória)

PSK: *Phase-Shift Keying* (Modulação por Chaveamento de Fase)

PWM: *Pulse-Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

Q-PSK: *Quadrature Phase Shift Keying*

RAM: *Random Access Memory* (Memória de Acesso Aleatório)

RFD: *Reduced Function Device*

SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition* (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados)

SUPRAM-TMAP: Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba

UART: *Universal Asynchronous Receiver Transmission*

USB: *Universal Serial Bus*

WARC: *World Administrative Radio Conference*

WiMAX: *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-Ondas)

WISA: *Wireless Interface to Sensors and Actuators*

WLAN: *Wireless Local Area Network* (Rede de Área Local Sem-Fio)

WMAN: *Wireless Metropolitan Area Network* (Rede de Área Metropolitana Sem-Fio)

WPAN: *Wireless Personal Area Network* (Rede de Área Pessoal Sem-Fio)

WWAN: *Wireless Wide Area Network* (Rede de Longa Distância Sem-Fio)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Rebaixamento de nível de água	18
3.1.1 <u>Rebaixamento de nível de água na mineração</u>	18
3.1.2 <u>Poços tubulares profundos</u>	20
3.1.2.1 <i>Conceito</i>	20
3.1.2.2 <i>Outorga</i>	21
3.1.2.3 <i>Licença de perfuração</i>	21
3.1.2.4 <i>Operação</i>	22
3.2 Telemetria	23
3.3 Comunicação sem-fio (<i>wireless</i>)	233
3.3.1 <u>Introdução</u>	233
3.3.2 <u>Técnicas de modulação sem-fio</u>	24
3.3.2.1 <i>Modulações analógicas</i>	25
3.3.2.1.1 Modulação por Amplitude.....	25
3.3.2.1.2 Modulação por Frequência	26
3.3.2.1.3 Modulação por Fase.....	27
3.3.2.2 <i>Modulações digitais</i>	27
3.3.2.2.1 Modulação por Chaveamento de Amplitude	27
3.3.2.2.2 Modulação por Chaveamento de Frequência	28
3.3.2.2.3 Modulação por Chaveamento de Fase.....	29
3.3.2.2.4 Espalhamento Espectral por Sequência Direta	29
3.3.3 <u>O espectro eletromagnético</u>	31
3.3.3.1 <i>Introdução</i>	31
3.3.3.2 <i>Política do espectro eletromagnético</i>	31
3.3.4 <u>Padrões internacionais</u>	33
3.3.4.1 <i>International Standards Organization</i>	33
3.3.4.2 <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	33
3.3.5 <u>Sistemas de comunicação sem-fio</u>	34

3.3.5.1 <i>Classes de rede de comunicação sem-fio</i>	34
3.3.5.1.1 Wireless Personal Area Network.....	34
3.3.5.1.2 Wireless Local Area Network	34
3.3.5.1.3 Wireless Metropolitan Area Network.....	35
3.3.5.1.4 Wireless Wide Area Network.....	35
3.3.5.2 <i>Protocolos de rede sem-fio</i>	35
3.3.5.2.1 Wi-Fi.....	36
3.3.5.2.2 Bluetooth	36
3.3.5.2.3 WirelessHART	37
3.3.5.2.4 Wireless Interface to Sensors and Actuators	37
3.3.5.2.5 ZigBee	37
3.3.6 <u>Microcontroladores</u>	40
3.3.6.1 <i>Introdução</i>	40
3.3.6.2 <i>Definição</i>	41
3.3.6.3 <i>Aplicações</i>	41
3.3.6.4 <i>Fabricantes</i>	41
3.3.7 <u>Supervisório</u>	42
4 MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1 Sistema de rádio transmissão	45
4.1.1 <u>Características dos radiotransmissores utilizados</u>	45
4.1.1.1 <i>XBee-PRO 900HP</i>	45
4.1.1.2 <i>Protocolo</i>	46
4.1.1.3 <i>Topologia de rede</i>	47
4.1.1.4 <i>Alcance</i>	48
4.1.1.5 <i>Hardware do módulo</i>	48
4.1.1.6 <i>Modos de comunicação</i>	49
4.1.1.7 <i>Modos de comunicação</i>	52
4.1.2 <u>Acessórios dos módulos XBee</u>	52
4.1.2.1 <i>XBee Explorer Dongle</i>	52
4.1.2.2 <i>Pig tail e antena</i>	53
4.1.3 <u>Configuração e testes de comunicação</u>	54
4.2 Sistema de interface e aquisição de dados dos rádios	55
4.2.1 <u>Componentes do sistema</u>	55
4.2.1.1 <i>Arduino Uno</i>	55

4.2.1.2 <i>Características</i>	55
4.2.1.3 <i>Integrated Development Environment – Arduino</i>	56
4.2.1.4 <i>XBee Shield</i>	56
4.2.2 <u>Programação e testes</u>	57
4.3 Sistema de supervisão e tratamento de dados	57
4.3.1 <i>Microsoft Visual Studio 2010</i>	57
4.4 Sistema de aquisição de sinais de campo	58
4.4.1 <u>Equipamentos existentes</u>	58
4.4.2 <u>Definição dos dados monitorados</u>	61
4.4.3 <u>Simulação dos sinais</u>	61
4.5 Testes de alcance	61
5 RESULTADOS	63
5.1 Sistema de rádio transmissão	63
5.2 Sistema de interface e aquisição de dados dos rádios	65
5.3 Sistema de supervisão e tratamento de dados	66
5.4 Sistema de aquisição de sinais de campo	68
5.5 Teste de alcance	68
5.5.1 <u>Área urbana</u>	68
5.6 Área de mina	69
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	74
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
7.1 Conclusão	75
7.2 Proposta de trabalhos futuros	75
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade essencial para a vida moderna. De telefones celulares a aviões, de estruturas de prédios a moedas, os minérios são ingredientes para diversos itens indispensáveis para o nosso dia a dia.

A economia do Brasil sempre teve uma relação estreita com a extração mineral. Desde os tempos de colônia, o Brasil transformou a mineração – também responsável por parte da ocupação territorial – em um dos setores básicos da economia nacional. Atualmente, a mineração continua sendo um dos setores básicos da economia do Brasil. Em 2006, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), ela representava cerca de 9% do Produto Interno Bruto (PIB), gerando aproximadamente 500 mil empregos diretos.¹

A exploração de uma mina em cava fechada² necessita de rebaixamento de nível de água (n.a), uma vez que essa nem sempre apresenta condições favoráveis de drenagem superficial. Essa é uma prática comum iniciada na década de 1980 (BERTACHINI; ALMEIDA, 2003). Atualmente as mineradoras fazem uso de poços tubulares profundos para realizar esta função de rebaixamento de n.a e assim permitir o avanço da lavra e a operabilidade da mina (ABUD *et al.*, 2014).

Para que se possa obter a outorga dos poços de rebaixamento e conseqüentemente viabilizar a extração é necessário que se cumpra uma série de critérios legais antes e depois da instalação dos mesmos. O que interessa aqui é o critério de operação dos poços já instalados: o monitoramento dos volumes de água retirados da mina. Para o devido cumprimento da legislação vigente, a empresa possui operadores responsáveis pelo monitoramento e funcionamento dos poços. Essas atividades realizadas diária e manualmente ocasionam alguns transtornos como:

- a) demanda de tempo do operador, ter que ir a todos os poços;
- b) erros durante a coleta dos dados, esquecimento da leitura de algum poço e/ou troca de dados;

¹ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração; Organizadores, Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípaç. Brasília: ANA, 2006. p.6. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/A%20gest%C3%A3o%20dos%20recursos%20h%C3%ADricos%20e%20a%20minera%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em 19 jul. 2015.

² Cava fechada é uma modalidade de lavra a céu aberto e, em alguns casos, a única alternativa de rebaixamento de nível de águas subterrâneas é por meio de poços tubulares profundos.

- c) dificuldade ou mesmo falta de acesso, o processo de lavra e as condições climáticas às vezes cortam, temporariamente, o acesso ao poço (dessa forma não se consegue obter a leitura nem mesmo saber o funcionamento do poço em questão);
- d) não possuir o levantamento dos poços em operação em tempo real e
- e) segurança, uma vez que a operação de lavra acarreta riscos para aqueles que ali estão trabalhando.

Por meio da telemetria e de um sistema de supervisor propôs-se uma otimização do processo acima citado obtendo um acesso remoto instantâneo e confiável às informações de cada poço, tais como:

- a) funcionamento (ligado/desligado/falha de sobrecarga/falha de comunicação), caso o radiotransmissor pare de funcionar por quaisquer motivos;
- b) vazão instantânea e
- c) totalizador da vazão.

No mercado, existem empresas que produzem sistemas de telemetria que atendem essa aplicação de monitoramento de poços. Diferentes técnicas de transmissão de dados são utilizadas e, geralmente, têm um elevado custo de instalação, bem como taxas mensais de manutenção dos sistemas instalados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho dedicou-se em automatizar o processo coleta de dados dos poços tubulares profundos de uma mineradora de forma remota, dando confiabilidade e um controle simultâneo ao processo de rebaixamento de n.a subterrânea. No projeto, serão utilizados três dispositivos radiotransmissores de padrão *ZigBee*, formando uma rede. Um deles será acessado de uma estação remota (*notebook*) e assim receberá os dados triviais de funcionamento dos dois poços monitorados.

2.2 Objetivos específicos

- a) Estudo da tecnologia wireless padrão *ZigBee*;
- b) configuração e testes de comunicação entre módulos *XBee-PRO ZigBee*;
- c) programação de um microcontrolador *Atmel* para tratamentos dos dados de funcionamento do poço juntamente com o módulo *ZigBee* e
- d) desenvolvimento de um supervisor utilizando o *software Microsoft Visual Studio*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Rebaixamento de nível de água

Segundo Bertachini e Almeida (2003), o rebaixamento do n.a é uma prática comum. Existem dois tipos de procedimentos que, de acordo com a área de execução, podem ser realizados: procedimentos em obras civis ou na mineração. Eles diferenciam entre si pelo tempo de duração da atividade. Enquanto na obra civil ela só se faz durante a construção, na mineração ela inicia e perdura até o momento de se começar o descomissionamento da mina.

3.1.1 Rebaixamento de nível de água na mineração

A maioria dos depósitos minerais encontra-se abaixo da superfície piezométrica, isto é, a profundidade que encontra a superfície do lençol de água dos aquíferos, geralmente, é parte ou está associado a um reservatório subterrâneo. Dessa forma, a necessidade de drenagem de mina é utilizada para melhorar as condições operacionais e dar estabilidade geotécnica da mesma, conforme a Figura 1 (BERTACHINI e ALMEIDA, 2003).

Figura 1 – Avanço de lavra Vale Fertilizantes



Fonte: Abud *et al.* (2014, p.5)

Existem diferentes formas de fazer a drenagem dessas águas na mina: poços tubulares profundos, bombeamento de águas coletadas em *sumps* (tanques localizados no fundo da mina que fazem a coleta de águas pluviais), galerias, drenos sub-horizontais, trincheiras e surgências de águas subterrâneas (Figura 2) e mesmo a combinação entre esses métodos, onde normalmente são usadas bombas para retirada dessas águas, as quais são conduzidas até uma cota mais elevada e lançadas em drenagens (escavadas ou naturais) a jusante da mina.³

Figura 2 – Abertura de trincheiras para drenagem e condução de água aos *sumps*



Fonte: Agência Nacional de Águas (2006, p.98)

De acordo com Abud *et al.* (2014), as mineradoras utilizam-se de poços tubulares profundos para fazer o rebaixamento do n.a e assim permitir o avanço da lavra (Figura 3).

Figura 3 – Bombeamento de água subterrânea através de poço tubular profundo



Fonte: Agência Nacional de Águas (2006, p.98)

³ Ibid. p.98.

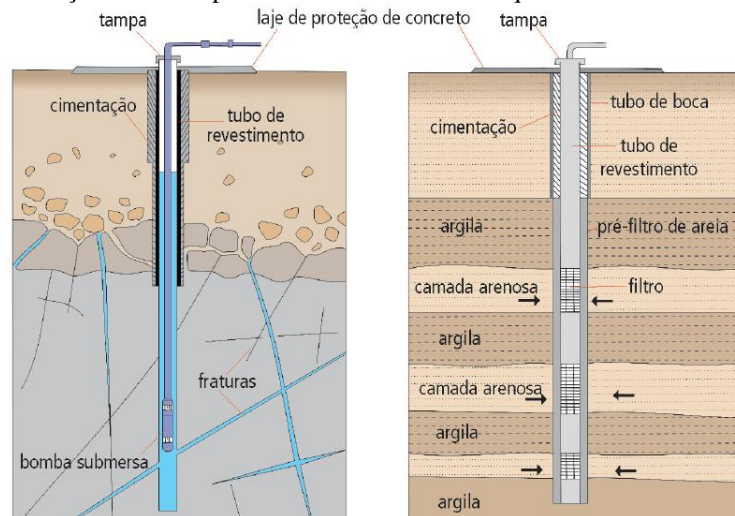
3.1.2 Poços tubulares profundos

3.1.2.1 Conceito

Segundo Abud *et al.* (2014, p.2), poços tubulares profundos “são estruturas de captação destinadas a exploração de água subterrânea de um ou mais aquíferos” conhecidos. É uma obra de engenharia geológica de acesso à água subterrânea. Os poços tubulares são popularmente conhecidos como poços artesianos ou semi-artesianos. Para a sua perfuração utilizam-se equipamentos de grande porte como: máquinas perfuratrizes a percussão, rotativas e rotopneumáticas, de acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM).⁴

Os poços tubulares apresentam alta capacidade de produção de água. Em geral, possuem um diâmetro de 10 a 50 centímetros que varia de acordo com sua profundidade e produção. Quanto mais profundo e produtivo, maior será o diâmetro do poço tubular (Figura 4). A constituição básica de um poço tubular profundo pode ser definida da seguinte forma: revestimento do furo, onde se evita o desmoronamento das paredes do poço; filtro, que possui aberturas que facilitam a entrada de água para dentro do poço; no pré-filtro (espaço formado entre a parede do furo e o revestimento), coloca-se uma areia grossa para que ela impeça a entrada de material argiloso para dentro do poço quando bombeado; proteção sanitária (laje de proteção e cimentação), impede a infiltração de água da superfície para dentro do poço e a bomba submersa, que faz a captação da água do aquífero (IRITANI; EZAKI, 2009).

Figura 4 – Poços tubulares profundos construídos em aquífero fraturado e sedimentar



Fonte: Iritani e Ezaki (2009, p.71)

⁴ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Noções básicas sobre poços tubulares:** cartilha informativa. Recife: CPRM, 1998. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/dehid/manubpt.pdf>>. Acesso em 18 jul. 2015.

3.1.2.2 *Outorga*

No Brasil, a lei nº. 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com a finalidade de assegurar às futuras gerações a disponibilidade de água, bem como a utilização dos recursos hídricos de forma racional e integrada. Essa política de gerenciamento de recursos hídricos utiliza-se da outorga (instrumento ordenador que funciona como uma “autorização” para que a captação e a utilização de água ou o lançamento de efluentes, sejam feitos em condições determinadas).⁵

Em Minas Gerais, os usuários de recursos hídricos, de qualquer setor, devem solicitar ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) a outorga de águas de domínio do Estado. Para o uso de águas de rios de domínio da União, a concessão deve ser solicitada à ANA. Em se tratando de outorgas de grande porte, a exemplo de uma outorga de rebaixamento de n.a subterrânea na mineração ou barragens (rejeito, hidrelétrica etc.), é necessário, ainda, solicitar a aprovação da outorga junto ao comitê da bacia hidrográfica onde o projeto será implantado. No caso de Araxá (Minas Gerais), o comitê responsável é o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (CBH ARAGUARI).⁶

3.1.2.3 *Licença de perfuração*

A instalação de um poço, seja ele para abastecimento ou para rebaixamento, inicia-se pelo processo de escolha do local geologicamente mais favorável para a captação de águas subterrâneas.⁷ Uma vez escolhido o local, é feito junto ao órgão ambiental um pedido de licença de perfuração do poço na coordenada geográfica escolhida. No caso de Araxá, trata-se da Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (SUPRAM-TMAP). Após a emissão da licença, o poço deve ser perfurado na coordenada geográfica licenciada e assim que for concluída a sua perfuração e a sua construção, um geólogo ou engenheiro de minas deverá elaborar um relatório com todos os dados (profundidade, perfil

⁵ SISTEMA FIRJAN. **Orientações para a obtenção de outorga do uso da água:** guia de procedimentos passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, 2006. p.6. Disponível em <<http://www.firjan.org.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=40288094212F79010121300D636645E6>>. Acesso em 14 jul. 2015.

⁶ MINAS GERAIS (Estado). **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/outorga/manual/manual-de-outorga.pdf>>. Acesso em 14 jul. 2015.

⁷ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. Disponível em <<http://www.abas.org/index.php>>. Acesso em 14 jul. 2015.

litológico, testes de bombeamento, classificação de aquíferos, raio de interferência etc.) para que seja iniciado o processo de outorga.⁸

Na mineração, durante as pesquisas geológicas para a determinação dos volumes e teores de minérios, são realizadas, também, pesquisas hidrogeológicas com a finalidade de definir as estratégias de rebaixamento do n.a subterrânea necessárias para as atividades de lavra. Todas essas pesquisas são apresentadas ao longo do processo de licenciamento ambiental da mina, bem como as solicitações da Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI), Licença de Operação (LO), licenças de perfuração de poços e, posteriormente, a outorga de rebaixamento de n.a subterrânea para mineração.⁹

Caso o poço seja seco ou não apresente vazão suficiente, ele deverá ser tamponado, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e relatado ao órgão ambiental.¹⁰

3.1.2.4 Operação

Após emissão da outorga de rebaixamento é exigida uma série de condicionantes ambientais, tais como: monitoramentos piezométricos (níveis de água subterrânea) da mina e áreas adjacentes; monitoramentos contínuos dos poços (vazões, volumes bombeados, tempo de bombeamento, níveis dinâmicos, níveis estáticos etc.); vazões de nascentes e de córregos no entorno da mina; níveis de cisternas e poços de fazendas nas proximidades da mina e outras condicionantes.¹¹

Todas estas informações são devidamente protocoladas junto ao órgão ambiental em forma de relatórios, gráficos e mapas de acordo com a periodicidade exigida. Normalmente, determina-se que sejam feitas medições semanais dos pontos localizados no interior das minas e quinzenais ou mensais em pontos localizados fora das áreas de mina, exceto com relação aos poços, pois estes devem ser monitorados diariamente enquanto estiverem em funcionamento, independentemente da localização.¹² Segundo Abud *et al.* (2014, p.6), “na mina F4 da Vale Fertilizantes, os poços tubulares são inspecionados diariamente, sendo monitorados a vazão, tempo de operação e nível”.

⁸ SILVA, M. V. A. Aspectos hidrogeológicos conceituais da região do Condomínio Riviera do Lago - Araxá MG. Araxá, 2011. Disponível em <<http://www.rivieradolagoaraxa.com.br/arquivospaginas/HIDROGEOL...pdf>>. Acesso em 14 jul. 2015.

⁹ MINAS GERAIS (Estado). Op. cit.

¹⁰ SILVA, M. V. A. Op. cit.

¹¹ MINAS GERAIS (Estado). Op. cit.

¹² Idem.

Uma outorga de rebaixamento de n.a subterrânea, normalmente, possui validade de cinco anos, devendo o pedido de renovação ser feito um ano antes do vencimento, para que o mesmo seja analisado pelo órgão ambiental em tempo hábil.¹³

3.2 Telemetria

A palavra telemetria é de origem grega, sendo que *tele* significa longe, remoto, e *metron*, significa medida (DIAS, 1992).¹⁴ A telemetria é uma técnica de obtenção e transmissão de dados à distância, provindos de equipamentos remotos, distribuídos em uma área geográfica de forma pré-determinada, utilizados para o monitoramento, medição e controle dos mesmos.¹⁵

Santos (2010) define que existem diversos meios de comunicação os quais têm sido utilizados para suportar as aplicações de telemetria, incluindo micro-ondas, rádio privado, linhas telefônicas, rede elétrica, satélite de rede proprietárias. A escolha por uma rede de comunicação específica é, principalmente, em função da área de cobertura, do preço da solução equipamento, da confiabilidade da solução e da facilidade de integração.

3.3 Comunicação sem-fio (*wireless*)

3.3.1 Introdução

A necessidade de comunicar-se a longas distâncias foi o principal combustível para que tivéssemos grande avanços científicos na comunicação eletrônica, sendo Guglielmo Marconi reconhecido por efetuar a primeira transmissão de rádio. Em Londres, no ano de 1897, patenteou sua descoberta relativa à transmissão de impulsos e de sinais elétricos com o aparelho de rádio. “Ele conseguiu, em 1901, realizar a primeira transmissão transoceânica registrada, com sinais sendo lançados entre a Cornualha, na Inglaterra, e Terra Nova, no Canadá” (TRINDADE; TRINDADE, 2004 *apud* FAGUNDES, 2013, p.15).

Apesar de se ter creditado o invento ao físico italiano Guglielmo Marconi como o

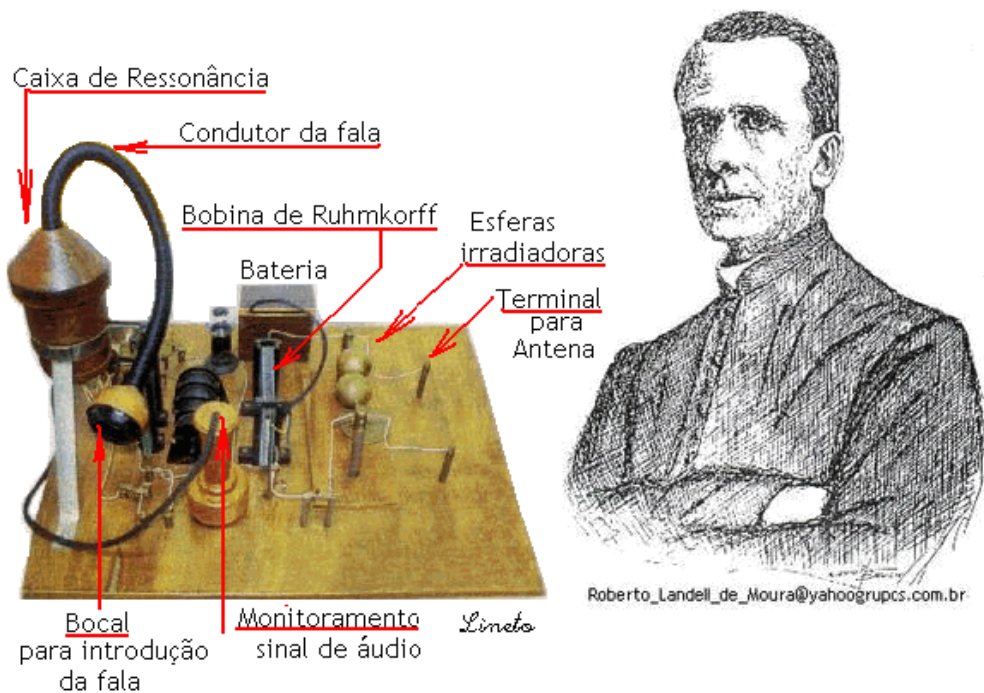
¹³ Idem.

¹⁴ VIEIRA, M. A. **Sistema de telemetria para robôs móveis**. 2011. 91f. Dissertação (Graduação em Engenharia da Computação) - Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus de Juazeiro, Juazeiro, BA, 2011. Disponível em <http://www.univasf.edu.br/~ccomp/monografias/monografia_3.pdf>. Acesso em 15 jul. 2015; ANSELMINI, R. Informação chega antes da cana na indústria. **Enalta**, Campinas, 29 ago. 2007. Disponível <<http://www.enalta.com.br/noticias.php?noticia=9>>. Acesso em 24 nov. 2010

¹⁵ VISSOTTO JÚNIOR, D. Transmissão de dados via telemetria: uma opção de comunicação remota. **Viva o Linux**, 26 nov. 2004. Disponível em <<http://www.vivaolinux.com.br/artigos/verArtigo.php?codigo=1710>> Acesso em 15 jul. 2015.

criador do rádio, poucos sabem que dois anos antes dele, um padre cientista brasileiro, chamado Roberto Landell de Moura, conseguiu transmitir uma voz humana a 8 quilômetros de distância em linha reta, enquanto que Marconi só transmitia sinais telegráficos (Figura 5). O fato de Landell de Moura não ter sido reconhecido como inventor da comunicação eletrônica sem-fio é porque ele não pertencia, na época, à comunidade científica internacional sediada na Europa e nos Estados Unidos.

Figura 5 – Transmissor de ondas do Padre Roberto Landell de Moura



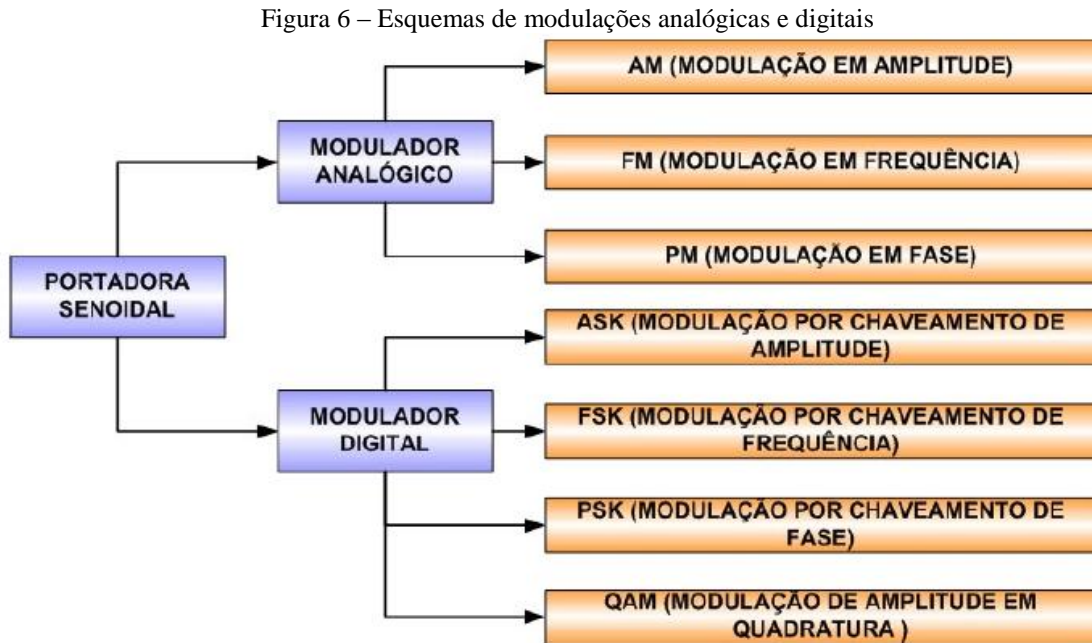
Fonte: Neto [s.d.] *apud* Fagundes (2013, p.15)

O aprimoramento da tecnologia wireless se deu para fins militares para transmitir informações (via rádio) sem que o inimigo interceptasse a mensagem ou interferisse na comunicação. Então, ao final da Guerra Fria, tinha-se um método de modulação sofisticado, que foi liberado para o uso civil, e trouxe consigo grandes avanços na comunicação sem-fio: alta imunidade a ruídos, baixa interferência a outros sistemas e difícil interceptação ou monitoração dos sinais (ZEINDIN *et al.*, 1999).

3.3.2 Técnicas de modulação sem-fio

“Modulação é uma técnica de adequação de um sinal/mensagem para que assim seja viável ser transmitida por um sistema eletrônico ao espaço através de ondas eletromagnéticas” (RAMOS, 2012). Segundo Silva (2009), é possível identificar dois grupos básicos de

modulação de acordo com o tratamento da portadora pelo sinal modulante: analógico e digital, como pode-se ver na Figura 6.



Fonte: Silva (2009, p.28)

Serão apresentadas neste trabalho as principais técnicas de modulação com o objetivo de fornecer os subsídios mínimos para melhor compreensão dos demais assuntos que serão expostos.

3.3.2.1 Modulações analógicas

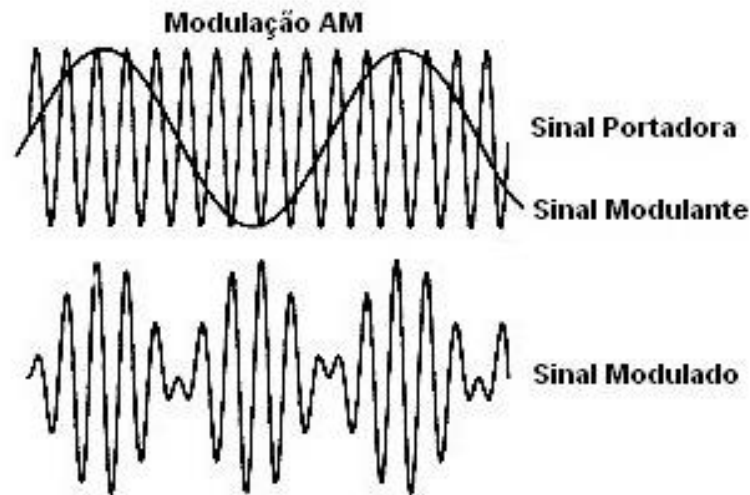
3.3.2.1.1 Modulação por Amplitude

De acordo com Ramos (2012), a Modulação por Amplitude – *Amplitude Modulation* (AM) – consiste na técnica de enviar mensagem, variando a amplitude do sinal da portadora, de acordo com a Equação 1.

$$f(t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

A equação apresenta matematicamente como a mensagem é transmitida, em que $m(t)$ representa a mensagem e f_c representa a frequência da portadora (Figura 7).

Figura 7 – Sinal da modulação AM



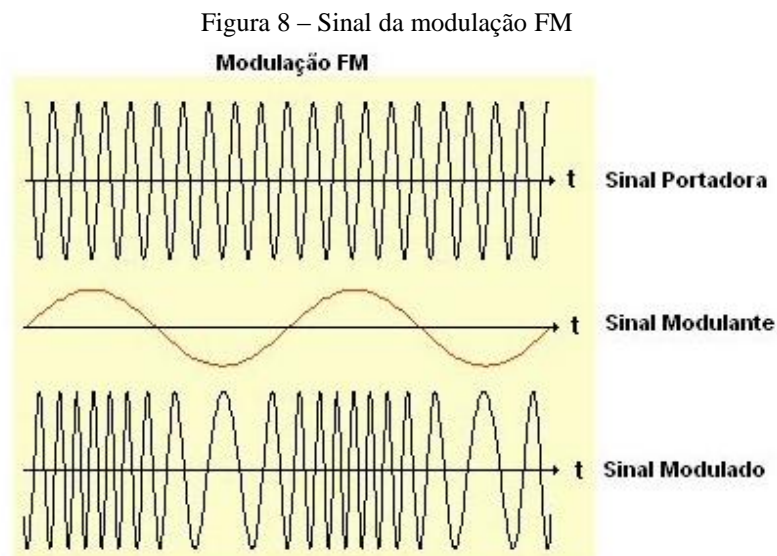
Fonte: Leite e Marques (2005)

3.3.2.1.2 Modulação por Frequência

Ramos (2012) afirma que a Modulação por Frequência – *Frequency Modulation* (FM) – utiliza a variação de frequência para transmitir a mensagem para o canal, como indica a Equação 2:

$$f(t) = A_C \cdot \cos(2\pi \cdot f_C \cdot t + \int m(v) dv) \quad (2)$$

em que A_C é uma constante, f_C é a frequência da portadora e $m(v)$ é a mensagem a ser transmitida (Figura 8).



Fonte: Leite e Marques (2005)

3.3.2.1.3 Modulação por Fase

A Modulação por Fase, ou *Phase Modulation* (PM), é um tipo de modulação analógica que se baseia na alteração da fase da portadora de acordo com o sinal modulante. A expressão básica de um sinal PM é dada por Haykin (2001) *apud* Silva (2009, p.32), representada pela Equação 3.

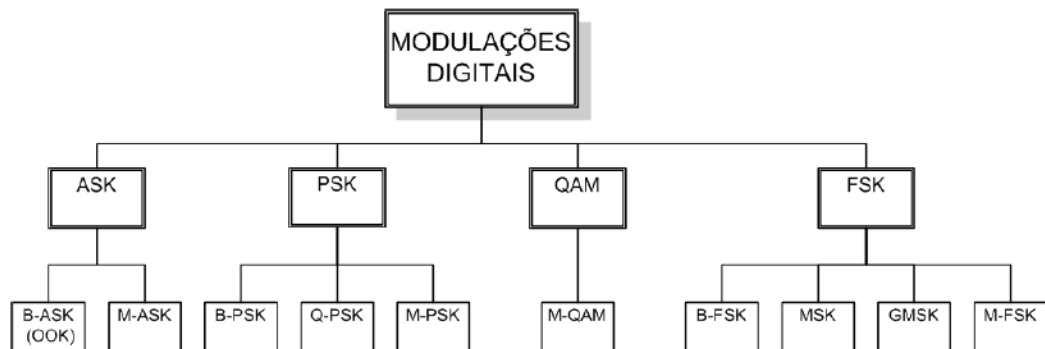
$$s(t) = E_p \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t + K_p d(t)) \quad (3)$$

onde K_p é a constante de desvio em fase.

3.3.2.2 Modulações digitais

Hoje, os sistemas de comunicação mais modernos utilizam a modulação digital. Esta técnica traz diversas vantagens como: maior imunidade a ruído, possibilidade de introduzir técnicas de correção de erro, oferece recursos avançados de processamento e armazenamento de dados, codificação da fonte, introdução de criptografia, dentre outros (RAMOS, 2012). As principais técnicas de modulação digital podem ser visualizadas na Figura 9.

Figura 9 – Modulações digitais



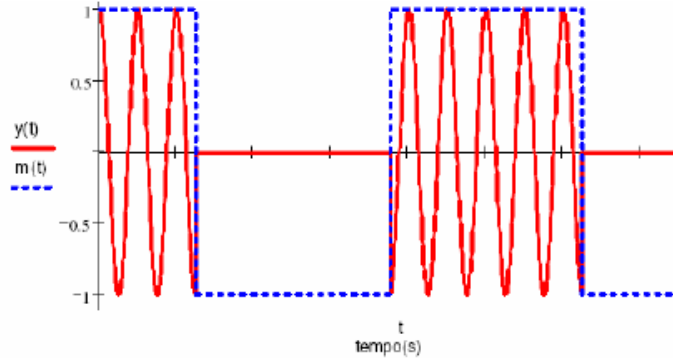
Fonte: Silva (2009, p.33)

3.3.2.2.1 Modulação por Chaveamento de Amplitude

A Modulação por Chaveamento de Amplitude, ou *Amplitude Shift-Keying* (ASK), é a técnica que consiste na alteração da amplitude da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido (Figura 10). É a mais simples dentre as utilizadas para modular sinais digitais. A modulação por chaveamento de amplitude é indicada nas situações em que existe pouco ruído

para interferir na recepção do sinal ou quando o baixo custo é essencial. A modulação ASK é utilizada em aplicações como transmissão via fibra óptica, transmissão de dados por infravermelho, controle remoto por meio de raios infravermelhos, entre outras (SILVA, 2009).

Figura 10 – Representação de um sinal com modulação ASK binário



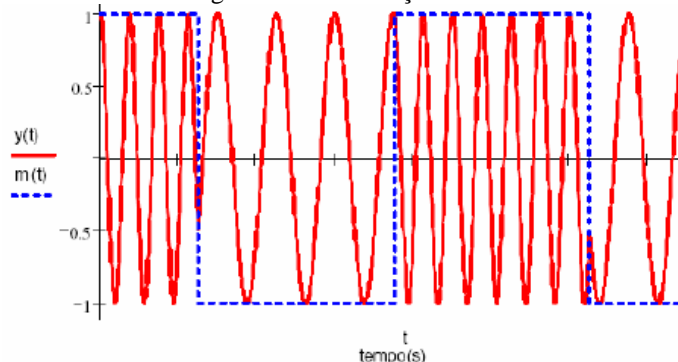
Fonte: Silva (2009, p.34)

3.3.2.2.2 Modulação por Chaveamento de Frequência

O processo de Modulação por Chaveamento de Frequência, ou *Frequency Shift Keying* (FSK), consiste em variar a frequência da onda portadora em função do sinal a ser transmitido. Este tipo de modulação pode ser considerado equivalente à modulação FM para sinais analógicos.

Dentre os vários tipos de modulação FSK, o mais simples é a *Binary Frequency Shift-Keying* (B-FSK), onde os símbolos zeros e uns estão associados a diferentes valores de frequência, ou seja, para transmitir o símbolo '1', a portadora assume a frequência f_1 e, para transmitir o símbolo '0', a portadora assume a frequência f_2 . Na Figura 11, pode-se observar um exemplo do FSK binário. Nesse tipo de modulação a amplitude e a fase não se alteram.

Figura 11 – Modulação B-FSK

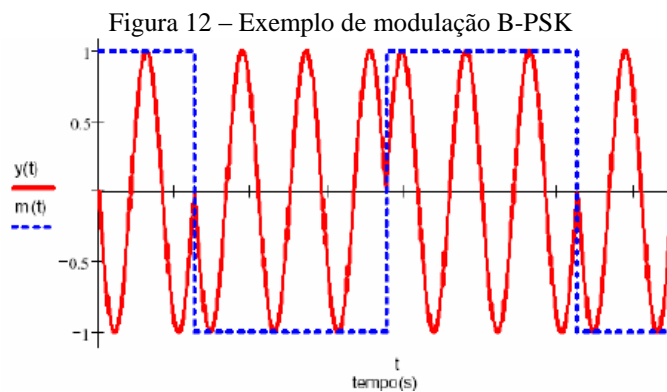


Fonte: Silva (2009, p.35)

3.3.2.2.3 Modulação por Chaveamento de Fase

Modulação por Chaveamento de Fase – *Phase-Shift Keying* (PSK) – é uma técnica em que a informação do sinal digital é embutida na fase da portadora. As principais variantes da modulação PSK são: *Binary Phase Shift Keying* (B-PSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (Q-PSK) e *Multiple Phase Shift Keying* (M-PSK).

Dentre as técnicas de modulação existentes, a mais simples é o B-PSK, onde a fase da portadora assume apenas dois valores de acordo com os *bits* gerados pela fonte. Havendo uma transição de um *bit* ‘0’ para um *bit* ‘1’ ou de um *bit* ‘1’ para um *bit* ‘0’, a onda portadora sofrerá uma alteração de fase de 180°. Não havendo nenhuma destas transições, ou seja, quando *bits* subsequentes são iguais, a portadora continua a ser transmitida com a mesma fase. A técnica B-PSK é ilustrada na Figura 12, onde se nota a inversão de 180° da fase da portadora a cada mudança de símbolo.

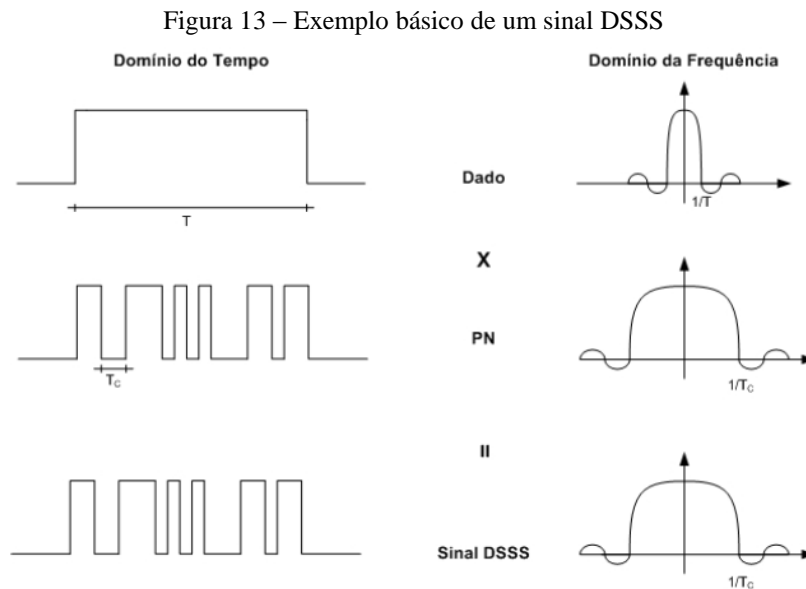


3.3.2.2.4 Espalhamento Espectral por Sequência Direta

As técnicas de espalhamento espectral foram originalmente desenvolvidas pelos militares a partir da Segunda Guerra Mundial com o objetivo de transformar as informações a serem transmitidas num sinal parecido com um ruído, evitando assim monitoração pelas forças inimigas (SILVA, 2009).

A tecnologia de modulação digital por espalhamento espectral é um dos processos mais utilizados para interligação de sistemas sem-fio com confiabilidade e sigilo. Segundo Ramos (2012), a tecnologia de Espalhamento Espectral por Sequência Direta – *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) – é utilizada nos módulos *XBee* e é por isso que eles possuem certa imunidade a interferências. A principal razão disso é a sua capacidade de codificação, que faz com que seja difícil a interpretação ou interceptação dos sinais emitidos por unidades não autorizadas.

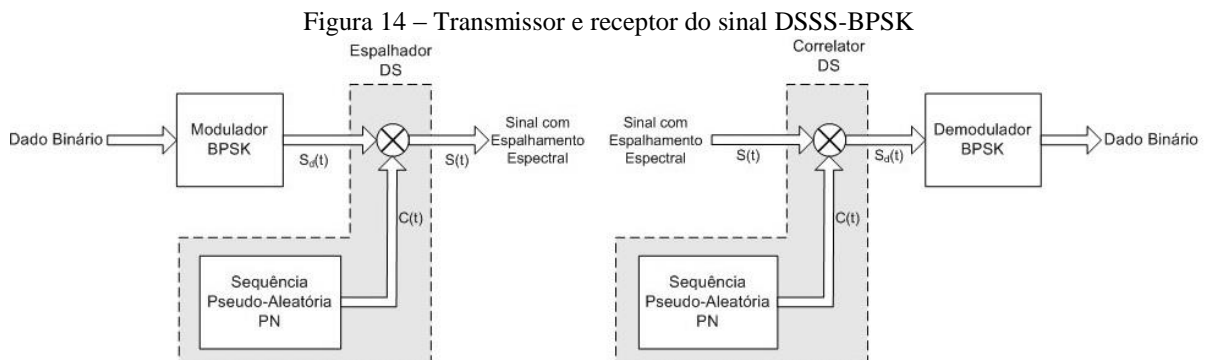
A técnica mais conhecida é a DSSS. Ela é feita da seguinte forma: o sinal de entrada é multiplicado diretamente por uma sequência Pseudoaleatória, ou *Pseudo Noise* (PN) – na transmissão. Para se obter o espalhamento do sinal desejado, a taxa do sinal PN deve ser bem maior do que a taxa do sinal de informação. A Figura 13 exemplifica um sinal transmitido com espalhamento DSSS, onde T é o tempo de duração de um *bit* e T_c é o tempo de duração de um *chip* (padrão de *bits*).



Fonte: Silva (2009, p.39)

Na recepção, o sinal é sincronizado e multiplicado pela sequência PN e posteriormente demodulado, recuperando a sequência binária de entrada.

O diagrama em bloco da Figura14 ilustra a forma básica de transmissor e receptor que utilizam a técnica de espalhamento DS com modulação digital B-PSK.



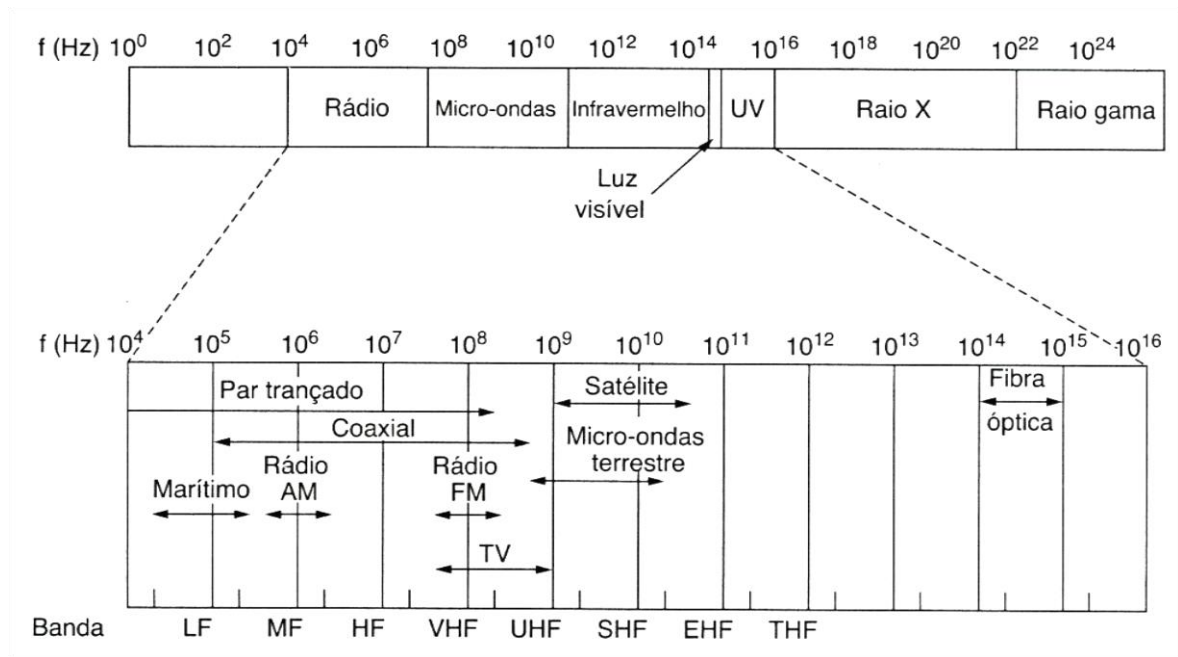
Fonte: Silva (2009, p.39)

3.3.3 O espectro eletromagnético

3.3.3.1 Introdução

O espectro eletromagnético nada mais é do que a descrição do uso das bandas (ou faixas) de frequência que são utilizadas nas transmissões de informações por meio de modulação da amplitude, da frequência ou da fase das ondas (Figura 15).

Figura 15 – Espectro eletromagnético e como ele é utilizado na comunicação



Fonte: Tanenbaum e Wetherall (2011, p.66)

A luz ultravioleta, os raios X e os raios gama não são utilizados para transmissão de informações, uma vez que, por serem de frequência mais alta, são difíceis de produzir e modular, não têm boa propagação entre prédios e são perigosos para os seres vivos (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

3.3.3.2 Política do espectro eletromagnético

Para evitar o desordenamento do uso das bandas do espectro de frequências, foram feitos acordos nacionais e internacionais com a finalidade de definir quem tem direito de utilizar cada banda. Os governos nacionais são responsáveis por alocar as bandas de rádio AM e FM, televisão, telefones celulares, usuários marítimos, de navegação, militares, do governo e para muitos outros usuários concorrentes. (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Em termos mundiais, uma agência da *International Telecommunication Union*

Radiocommunication Sector (ITU-R) – World Administrative Radio Conference (WARC) tenta coordenar essa alocação de frequências para que independentemente de onde foi produzido o dispositivo, o mesmo funcione em vários países. Não são todos países que adotam as recomendações da ITU-R, isto porque, em geral, elas exigem a desistência de alguma fração do espectro e dessa forma vão contra o interesse de algum grupo. Um exemplo disso são os Estados Unidos que possuem sua própria comissão alocadora: Comissão Federal de Comunicações, ou *Federal Communications Commission (FCC)* (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Depois de decidir qual parte do espectro é alocada para determinado uso, ainda existe o problema da concessão, qual empresa terá a permissão de usar quais frequências. Para isso existem três maneiras de fazer essa concessão (TANENBAUM; WETHERALL, 2011):

- a) concurso de beleza: as concessionárias expunham suas propostas, mostrando qual era a de melhor serventia para o interesse público. Então, o governo fazia a escolha por uma das histórias que mais lhe agradava. Esse tipo de prática facilitava a corrupção, suborno, nepotismo entre outros crimes;
- b) sorteio: realizava-se sorteio entre as empresas interessadas. O problema dessa técnica era que empresas que não tinham nada a ver com o ramo podiam participar do sorteio e depois poderiam revender o espectro adquirido e obter, sem risco, enorme lucro e
- c) leilões: quem fizesse a melhor proposta levava. Não diferentemente dos outros métodos isso ocasionou uma consequência, além da ganância dos governos, essa prática causou o endividamento das concessionárias, uma vez que todas entraram em disputas frenéticas entre si com o medo de perder o barco da telefonia móvel.

Uma abordagem diferente para alocar frequências está sendo utilizada: é simplesmente não as alocar. Assim todos podem transmitir à vontade, porém regula-se a potência utilizada de forma que o alcance seja pequeno e não interfira umas com as outras. Com isso a maioria dos governos está reservando algumas bandas de frequência chamadas bandas *Industrial, Scientific, Medical (ISM)* para uso sem licença. Sistemas de abertura de porta de garagens, alarmes e vários dispositivos sem-fio (como mouse e brinquedos) são exemplos do uso dessa banda de frequência. As bandas não licenciadas ocasionaram inovação nas Redes de Área Local, ou *Local Area Networks (LANs)* e Redes de Área Pessoal, ou *Personal Area Network (PANs)*, sem-fio, evidenciadas pelas tecnologias 802.11, *Bluetooth* e mais recentemente o *ZigBee* (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

3.3.4 Padrões internacionais

3.3.4.1 *International Standards Organization*

Normalizar e padronizar foi uma necessidade que se teve no final da Segunda Guerra Mundial para que existisse compatibilidade e qualidade nas diversas áreas existentes de produção mundial. No ano de 1946, foi criada a Organização Internacional de Normatização – *International Standards Organization (ISO)* –, uma organização voluntária e independente que produz e publica padrões internacionais. Dentro dela estão incorporadas organizações nacionais de 157 países do mundo, incluindo a ABNT, que foi um dos membros fundadores da ISO. O procedimento para adoções de padrões usados pela ISO foi criado de modo a obter o maior consenso possível. O processo inicia quando umas das organizações de padrões nacionais sente a necessidade de um padrão internacional em alguma área. Então é formado um grupo de trabalho, que após o debate entre as entidades associadas, o documento é então reconhecido e publicado (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

No início dos anos 1980, a ISO aprovou um modelo de referência para permitir a comunicação entre máquinas heterogêneas, denominado Interconexão de Sistemas Abertos, ou *Open Systems Interconnection (OSI)*. Esse modelo serve de base para qualquer tipo de rede, seja de curta, média ou longa distância. O modelo OSI é dividido em sete camadas, onde cada uma possui uma função distinta no processo de comunicação entre dois sistemas abertos.¹⁶

3.3.4.2 *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

Outro participante essencial no mundo dos padrões é o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos, ou *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, considerado a maior organização profissional que desenvolve padrões na área de engenharia elétrica e informática (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). O objetivo dessa padronização é possibilitar a compatibilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes.

São os grupos de trabalho do 802 que tratam das redes locais: Rede de Área Local Sem-Fio, ou *Wireless Local Area Network (WLAN)*; Rede de Área Pessoal Sem-Fio, ou *Wireless Personal Area Network (WPAN)* e Rede de Área Metropolitana Sem-Fio, ou *Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)* (BONIFÁCIO, 2010). O trabalho do grupo 802 é

¹⁶ PINHEIRO, J. M. S. O modelo OSI. **Projeto de redes**, 22 nov. 2004. Disponível <http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_modelo_osi.php>. Acesso em 19 nov. 2015

subdivido em outros grupos da seguinte forma:

- a) IEEE 802.3: *ethernet*;
- b) IEEE 802.11: redes locais sem-fio (*Wi-Fi*);
- c) IEEE 802.15: redes pessoais: IEEE 802.15.1: *Bluetooth*; IEEE 802.15.4: *ZigBee*, *WirelessHART* e
- d) IEEE 802.16: banda larga sem-fio – Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-Ondas, ou *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*.

3.3.5 Sistemas de comunicação sem-fio

3.3.5.1 *Classes de rede de comunicação sem-fio*

Segundo Bonifácio (2010) e Roa e Fruett (2010), as classificações das tecnologias de comunicação sem-fio podem ser feitas de acordo com o alcance e a taxa de transmissão, dessa forma destaca-se quatro grandes grupos.

3.3.5.1.1 Wireless Personal Area Network

A Rede de Área Pessoal Sem-Fio, ou *Wireless Personal Area Network (WPAN)*, trabalha com tecnologias *wireless* de pequeno alcance, entre 10 e 100 metros. Esta área compreende às redes sem-fio que utilizam dispositivos como o Assistente Pessoal Digital, ou *Personal Digital Assistant (PDA)*; o Computador Pessoal, ou *Personal Computer (PC)* e periféricos, sendo o campo de ação de tecnologias como *Bluetooth* (IEEE 802.15.1) e *ZigBee* (IEEE 802.15.4).

3.3.5.1.2 Wireless Local Area Network

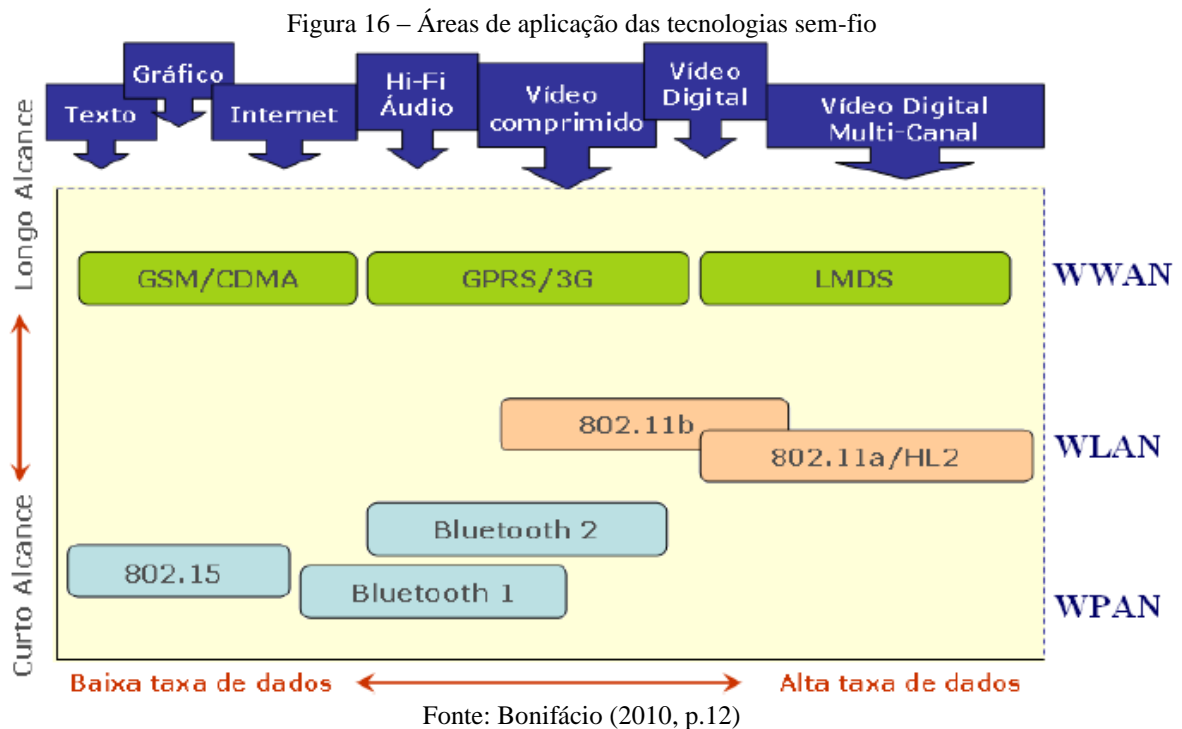
A *Wireless Local Area Network (WLAN)* trabalha com tecnologias que se destinam a redes sem-fio com alcance situado entre os 100 e 300 metros, frequentemente como extensão ou alternativa a redes de cabeamento convencional (par de cobre, cabo coaxial ou fibra óptica). Um exemplo desta categoria é o *Wi-Fi* (IEEE 802.11b/g).

3.3.5.1.3 Wireless Metropolitan Area Network

A Rede de Área Metropolitana Sem-Fio, ou *Wireless Metropolitan Area Networks* (WMAN), trabalha com acessos de banda larga em redes de âmbito metropolitano, cujo alcance está em torno de 6 quilômetros.

3.3.5.1.4 Wireless Wide Area Network

A Rede de Longa Distância Sem-Fio, ou *Wireless Wide Area Network* (WWAN), é o grupo mais amplo em termos de alcance e está orientado para serviços de telecomunicações (voz e dados), em longa distância de transmissão. A Figura 16 mostra a área de aplicação de algumas das tecnologias citadas com relação ao alcance e à taxa de transmissão.

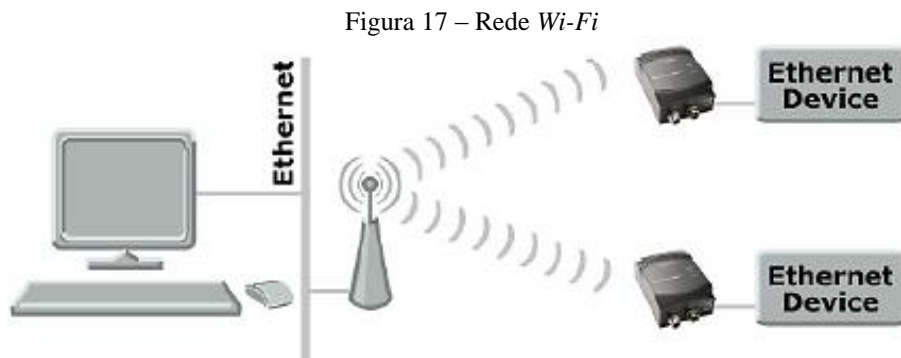


3.3.5.2 Protocolos de rede sem-fio

Aplicações sem-fio em áreas industriais possuem exigências maiores sobre a comunicação, devendo ela ser confiável, robusta, segura, possuir configurações semelhantes, suportar ferramentas de automação, informações em tempo real e comportamento determinístico. Entres as várias tecnologias sem-fio existentes, o que difere umas das outras são as adequações desses requisitos no que será aplicação industrialmente (LUGLI; SOBRINHO, 2012).

3.3.5.2.1 Wi-Fi

Segundo Lugli e Sobrinho (2012),¹⁷ o protocolo *Wi-Fi* (IEEE 802.11), nome dado ao sistema *ethernet wireless*, é a tecnologia de interconexão para redes locais e dispositivos. A Figura 17 mostra um exemplo básico de uma rede *Wi-Fi*, isto é a rede *ethernet* sem-fio. As redes sem-fio tendem a ser mais lentas do que as cabeadas. A confiabilidade desses padrões se dá quando é levado em consideração o ambiente de instalação dos equipamentos. Eles devem possuir maneiras de validar os dados enviados e recebidos protegendo-os contra possíveis perdas. No ambiente industrial, as redes sem-fio dão certa mobilidade ao usuário flexibilizando a aplicação, movimentação dos dispositivos, porém não substituem as redes fixas.



Fonte: Lugli e Sobrinho (2012, p.4)

3.3.5.2.2 Bluetooth

O protocolo *Bluetooth* (IEEE 802.15.1) é uma forma de comunicação sem-fio, que visa a conexão e troca de informações entre dispositivos, como telefones celulares, computadores, *notebooks*, impressoras e câmeras digitais. Utiliza da comunicação por salto de frequência *Frequency Hopping - Code Division Multiple Access* (FH-CDMA) que permite a proteção dos dados e ainda evita a interferência com outros protocolos. Opera na faixa ISM, frequência de rádio aberta (LUGLI; SOBRINHO, 2012).¹⁸

3.3.5.2.3 WirelessHART

¹⁷ INTRODUÇÃO ao *Wi-Fi* (802.11 ou WiFi). **Kioskea.net**. Disponível em <<http://br.ccm.net/contents/790-introducao-ao-wi-fi-802-11-ou-wifi>>. Acesso em 21 jul. 2015.

¹⁸ THE OFFICIAL BLUETOOTH. Disponível em <<https://www.bluetooth.org/Building/overview.htm>>. Acesso em 21 jul. 2015.

Segundo Lugli e Sobrinho (2012),¹⁹ o protocolo *Highway Addressable Remote Transducer Protocol WirelessHART* (IEEE 802.15.4) fornece uma comunicação sem-fio robusta para toda a gama de medição de processo, controle e aplicativos de gerenciamento de ativos. Foi desenvolvido para que operasse em processos industriais, convivendo com a presença de interferências, coexistindo com outras redes sem-fio e garantindo segurança e privacidade dos dados, por meio de criptografia, de verificação e gerenciamento de chaves.

3.3.5.2.4 Wireless Interface to Sensors and Actuators

A *Wireless Interface to Sensors and Actuators* (WISA) é uma interface, elemento que proporciona uma ligação física ou lógica entre dois sistemas que não poderiam ser conectados diretamente, sem-fio. Os dispositivos de campo são conectados aos módulos de entrada/saída que transmitem e recebem os sinais via um par de antenas (tecnologia rádio). É baseada no padrão IEEE 802.15.1 (*Wi-Fi*) na banda livre de licença. Foi criada por um fabricante de automação industrial para cumprir os requisitos das aplicações de automação, em tempo real, particularmente robótica.

3.3.5.2.5 ZigBee

Segundo Ramos (2012), no ano de 2002, grandes empresas do setor de eletrônicos e áreas afins decidiram unir-se para padronizar um sistema de comunicação sem-fio para o setor de automação (Figura 18). O objetivo era fazer um sistema compatível, independente do fabricante do circuito. A união de forças resultou na *ZigBee Alliance*, que é responsável pela criação e manutenção de um padrão de comunicação sem-fio aberto denominado padrão *ZigBee*. Apesar de toda documentação e as especificações estarem em domínio público, é necessário ser associado à *ZigBee Alliance* para utilizar a marca *ZigBee*.

O padrão *ZigBee* é um protocolo de comunicação sem-fio, criado pela *ZigBee Alliance* que utiliza o padrão IEEE 802.15.4 como base e é voltado para o setor de automação em aplicações nas quais são necessárias baixas taxas de transmissão de dados e baixo consumo de potência. Esse padrão permite comunicações robustas, opera na frequência ISM e não requer

¹⁹ HART COMMUNICATION FOUNDATION. Disponível em <http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_overview.html>. Acesso em 21 jul. 2015.

licença para funcionamento (RAMOS, 2012).²⁰

Figura 18 – Empresas que fazem parte da *ZigBee Alliance*



Fonte: *The ZigBee Alliance*

O nome *ZigBee* foi dado pelo comportamento das abelhas quem vivem em colmeias, quando voam em busca de alimento comunicando com outras abelhas da mesma colmeia compartilhando informações sobre distância, direção e localização de alimentos (SALEIRO; EY, s.d.).

Na maioria das vezes, é formado por um microcontrolador que possui em sua memória o protocolo padrão *ZigBee*, se comunicando com outros microcontroladores que possuem a mesma rede. Para tal utiliza-se de um transmissor de rádio.

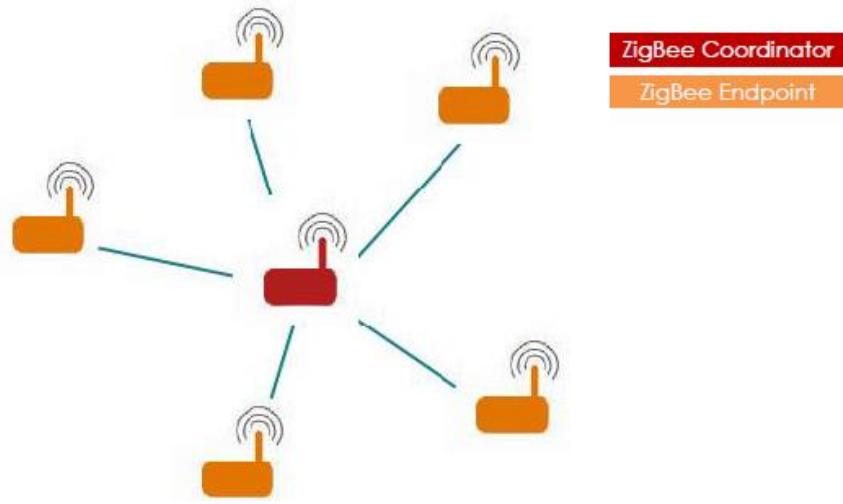
A IEEE definiu que uma rede *ZigBee* é constituída basicamente por dois tipos de dispositivos:

- a) *Full Function Device* (FFD), que pode ser um coordenador (responsável por formar a rede de trabalho) ou um roteador (responsável por encaminhar pacotes de dados quando o destino possui certas barreiras físicas). Os coordenadores e roteadores *ZigBee* possuem as mesmas características físicas e
- b) *Reduced Function Device* (RFD), também chamado de *endpoint* é um dispositivo de construção mais simples que os FFD, exercem tarefas reduzidas, sendo que se comunica somente com um coordenador ou roteador ao qual está associado.

A topologia de uma rede *ZigBee* pode ser classificada em: estrela (Figura 19), árvore (Figura 20) e malha (Figura 21).

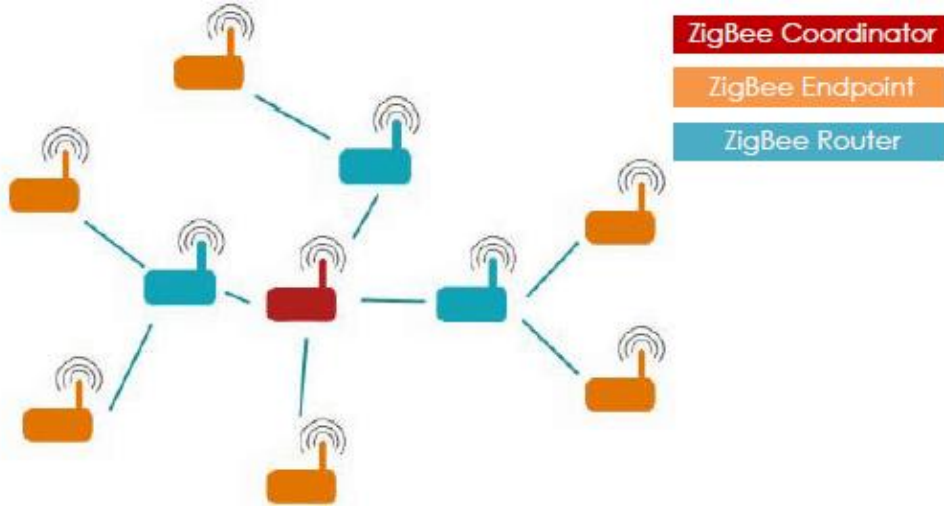
Figura 19 – Topologia em estrela

²⁰ THE ZIGBEE ALLIANCE. Disponível em <<http://www.zigbee.org>>. Acesso em 20 jul. 2015.



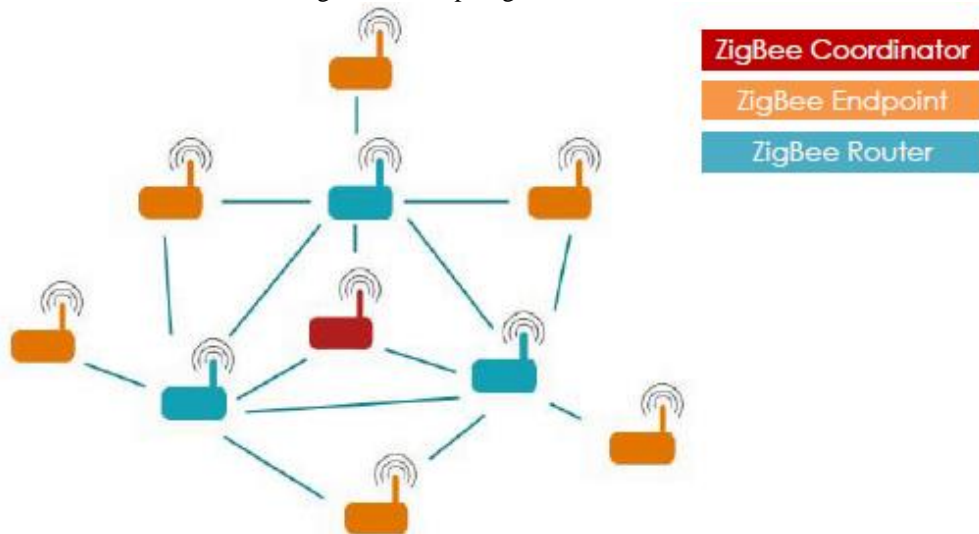
Fonte: Saleiro e Ey (s.d., p.13)

Figura 20 – Topologia em árvore



Fonte: Saleiro e Ey (s.d., p.14)

Figura 21 – Topologia malha



Fonte: Saleiro e Ey (s.d., p.14)

“Dentre as redes WPAN existentes, a mais recente e promissora para a aquisição de dados de sensores, como: temperatura, luminosidade, umidade, pressão, aceleração, etc, ou para o controle de dispositivos como: relês, trancas eletromagnéticas, ventiladores, motores, eletrodomésticos, entre outros, é a que utiliza o protocolo *ZigBee*” (MESSIAS, 2009 *apud* ROA; FRUETT, 2010; p.1).

A Figura 22 ilustra um comparativo entre os diversos protocolos de rede sem-fio evidenciados.

Figura 22 – Principais tecnologias sem-fio para automação

Norma IEEE (Nome de Mercado)	802.15.1 (Bluetooth)	802.11b (Wi-Fi)	802.15.4 (ZigBee)	802.15.4 (Wireless Hart)	802.15.1 (WISA)
Aplicação Principal	Eliminar a fiação atual.	Ethernet industrial	Controle e Monitoração	Medições de Processo e Controle	Interface Sensores e Atuadores
Frequência de operação	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Taxa de comunicação (Kbps)	1000-3000	11000	20-250	11000	1000
Distâncias alcançadas com visada direta (m)	30(Class 2) 100+(Class 1)	100 + (Antenas direcionais)	30-70, 100+ (Com amplificador externo)	100, até 2000 com repetidor	5 m (ambiente industrial; típica- mente 10 m)
Número de Dispositivos	7	32	2*64	250	120
Autonomia da bateria (dias)	1 a 7	0,5 a 5	100 - 1000+	3,5 anos: taxa de trans de 30 min.	3 a 4 anos
Consumo na Transmissão	45mA (Classe 2) <150mA (Classe 1)	300mA	30mA	150-300mA	100mA
Conveniência para Controle e Supervisão, aplicações industriais	Baixa (Boa média, mas conexão inicial lenta)	Baixa (Taxa alta, mas conexão inicial lenta)	Baixa (Bom compromisso entre taxa e custo de conexão)	Alto (Bom compromisso entre taxa e custo de conexão)	Alto (Boa taxa e custo de conexão)
Tecnologia de espalhamento espectral	FHSS	DSSS	DSSS	FHSS/DSSS	FHSS/DSSS
Vantagens relativas	Custo, Flexibilidade	Velocidade, Flexibilidade	Potência, Custo	Flexibilidade, Potência e Velocidade	Velocidade, Custo

Fonte: Lugli e Sobrinho (2012, p.7)

Foi através da comparação entre os diversos protocolos de rede sem-fio evidenciados na Figura 22 que escolhemos o protocolo *ZigBee* para aplicá-lo em no trabalho. A aplicação dessa tecnologia é voltada para o controle e monitoração, alcança distâncias consideráveis (acima de 100 metros), possui baixo consumo de bateria e custo acessível.

3.3.6 Microcontroladores

3.3.6.1 *Introdução*

Segundo Corteletti (2006), os microcontroladores são componentes eletrônicos responsáveis por grande parte das automações que facilitam a vida moderna. Mesmo com o uso cada vez maior desses componentes, eles passam de maneira despercebida para maioria dos usuários que não conseguem identificar as automações que os cercam.

3.3.6.2 *Definição*

Ainda para Corteletti (2006), os microcontroladores são dispositivos de tamanho reduzido, capazes de realizar controle de máquinas e equipamentos eletroeletrônicos por meio de programas. São dispositivos que reúnem, em um único circuito integrado, diversos componentes de um sistema computacional simplificado. Em outras palavras, pode-se afirmar que um microcontrolador é um pequeno microcomputador integrado em um único *chip*. Por se tratar de um componente programável, é bem versátil, podendo ser empregado em aplicações das mais diversas.

Segundo Siqueira e Boas (2011), os microcontroladores são circuitos integrados de baixo custo que contêm em sua síntese: memória programável somente para leitura, que armazena permanentemente as instruções programadas; Memória de Acesso Aleatório, ou *Random Access Memory* (RAM), memória que trabalha armazenando “variáveis” utilizadas pelo programa; Unidade Central de Processamento, ou *Central Processing Unit* (CPU), que interpreta e executa comandos desse programa. Existem também dispositivos de entradas e saídas, que têm a finalidade de controle de dispositivos externos ou de receber sinais pulsados de chaves e sensores. Possui temporizadores, contadores e canais de comunicação serial.

3.3.6.3 *Aplicações*

Os sistemas microcontrolados estão presentes nas mais diversas áreas: automação industrial, automação comercial, automação predial, área automobilística, agrícola, produtos manufaturados, eletrodomésticos, telecomunicações etc., levando controle, conforto e segurança (SIQUEIRA; BOAS, 2011).

3.3.6.4 *Fabricantes*

São vários os fornecedores de microcontroladores. Os principais, em termos de volume de vendas no Brasil, são (PAIOTTI, 2009 apud SOUZA, 2011, p.25):

- a) *Microchip Technology Inc.* (<http://www.microchip.com>);
- b) *Intel Corporation* (<http://www.intel.com>);
- c) *Atmel Corporation* (<http://www.atmel.com>) e
- d) *Texas Instruments* (<http://www.ti.com>).

Entre todos os microcontroladores mais utilizados em projetos acadêmicos, foi escolhida a plataforma *Arduino* (projetado com um microcontrolador *Atmel*) devido à facilidade de implementação, montagem em circuito e o baixo custo de aquisição.

3.3.7 Supervisório

De acordo com Jesus (2002) apud Ballock (2003, p.23): “um sistema supervisório, é um programa que tem por objetivo ilustrar o comportamento de um processo através de figuras e gráficos, tornando-se assim, uma interface objetiva entre um operador e o processo, desviando dos algoritmos de controle”.

Um sistema supervisório também é chamado de Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, ou *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Uma vez que esses sistemas permitem monitorar e rastrear informações de um processo produtivo ou uma instalação física, as “informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário” (SILVA; SALVADOR, 2005, p.1).

Os primeiros sistemas SCADA eram montados em painéis que ocupavam um grande espaço de uma sala de controle. Neles continham botoeiras, lâmpadas, indicadores e concentravam-se os sinais representativos de medidas e dos estados do equipamento (Figura 23) (RIBEIRO, 2006).

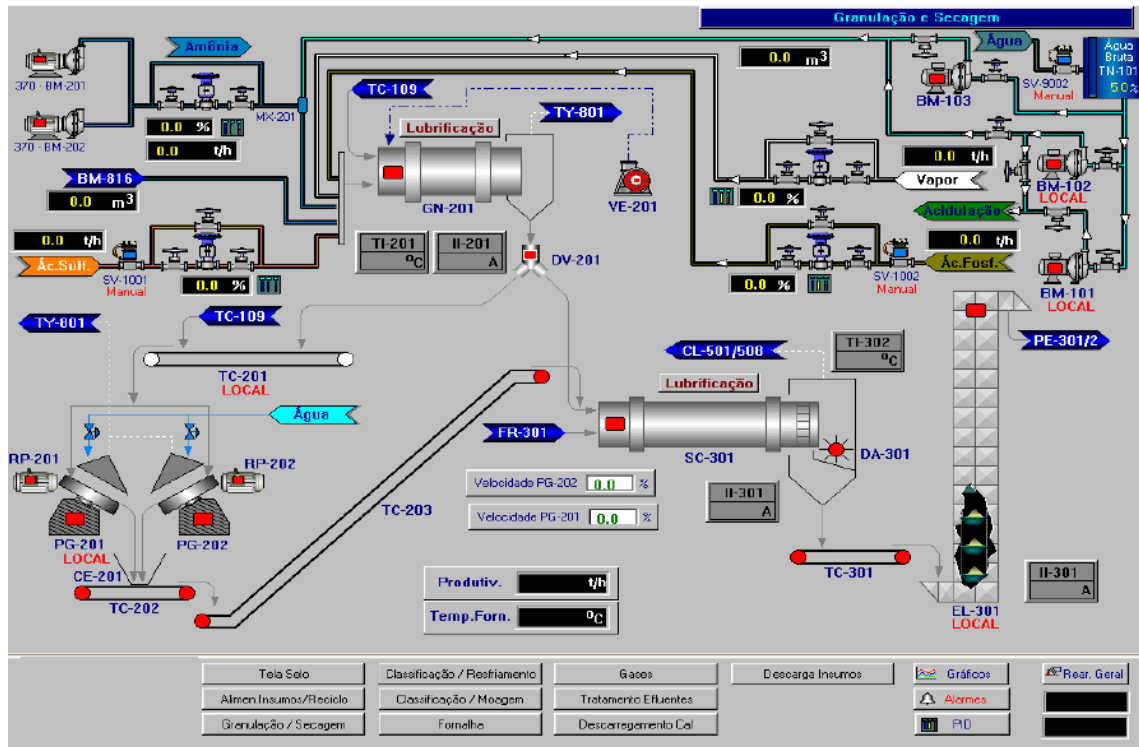
Figura 23 – Painel usado na supervisão de processo antes dos *softwares* supervisórios



Fonte: Ribeiro (2006, p.50)

A partir da evolução da tecnologia, os computadores ganharam uma nova função na supervisão de sistemas, uma vez que eles conseguiam coletar entre outras coisas, dados de processo, especialmente dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Os sistemas SCADA são evoluídos, possuem telas de supervisão intuitivas com gráficos interativos, utilizam padrões de cores (que servem para maior assimilação e entendimento do processo) e, também, reduzem o tempo de percepção da falha do sistema pelo operador. Eles são desenvolvidos com *softwares* possibilitando flexibilidade nas alterações e maior rapidez na manutenção e desenvolvimento, visto que nos painéis antigos era preciso desmontar e montar os circuitos indicadores (Figura 24) (RIBEIRO, 2006).

Figura 24 – Interface gráfica de um supervisor



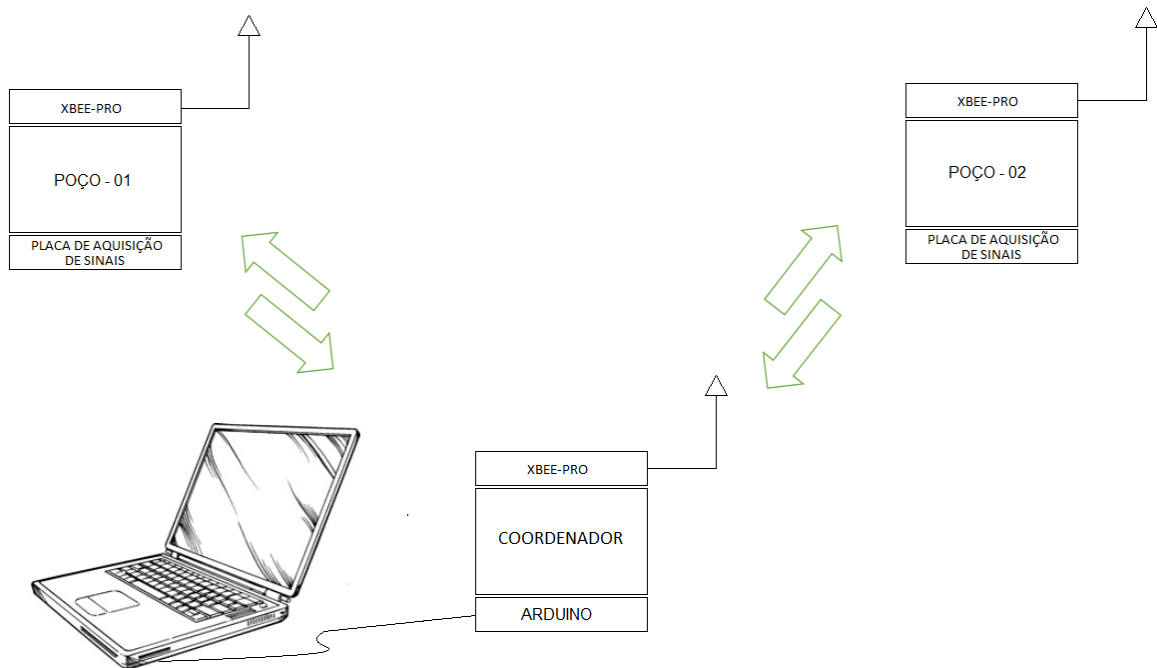
Fonte: Ribeiro (2006, p.51)

Para fazer o sistema supervisor, o trabalho utilizou um *software* de desenvolvimento chamado *Microsoft Visual Studio*. Além de ser uma ferramenta completa, possui editor de código, compilador, assistentes de código e outras que facilitam sua utilização. O conhecimento e o uso desse *software* durante o curso foi responsável pela escolha do mesmo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa é baseado no protótipo apresentado na Figura 25. O projeto utilizou três dispositivos radiotransmissores de padrão *DigiMesh* formando uma rede, onde um deles será acessado de uma estação remota (*notebook*) que receberá os dados de funcionamento dos poços monitorados (PP-01 e PP-02).

Figura 25 – Protótipo do projeto de monitoração de poços tubulares



Fonte: Autoria própria

Para facilitar o desenvolvimento do projeto proposto, ele foi dividido em:

- a) **sistema de rádio transmissão:** apresenta-se o radiotransmissor utilizado e os acessórios necessários para configuração e funcionamento correto dos módulos. Mostra como foi feita a configuração dos módulos e os primeiros testes de comunicação entre os dispositivos;
- b) **sistema de interface e aquisição de dados dos rádios:** apresenta-se a interface necessária para receber um dado;
- c) **sistema de supervisão e tratamento de dados:** criação do aplicativo e representação dos sinais recebidos dos *XBee*;
- d) **sistema de aquisição de sinais de campo:** placa de simulação dos sinais monitorados;
- e) **teste de alcance:** a distância em que há transmissão sem perda de dados.

4.1 Sistema de rádio transmissão

4.1.1 Características dos radiotransmissores utilizados

4.1.1.1 *XBee-PRO 900HP*

O *XBee-Pro 900 HP* é um módulo radiotransmissor embarcável, ou seja, um sistema

microprocessado que realiza um conjunto de tarefas predefinidas, dedicado ao que se é aplicado. Esse modelo consegue o maior alcance da extensa família *XBee*, conforme a Figura 26, produzida pela *Digi International*.

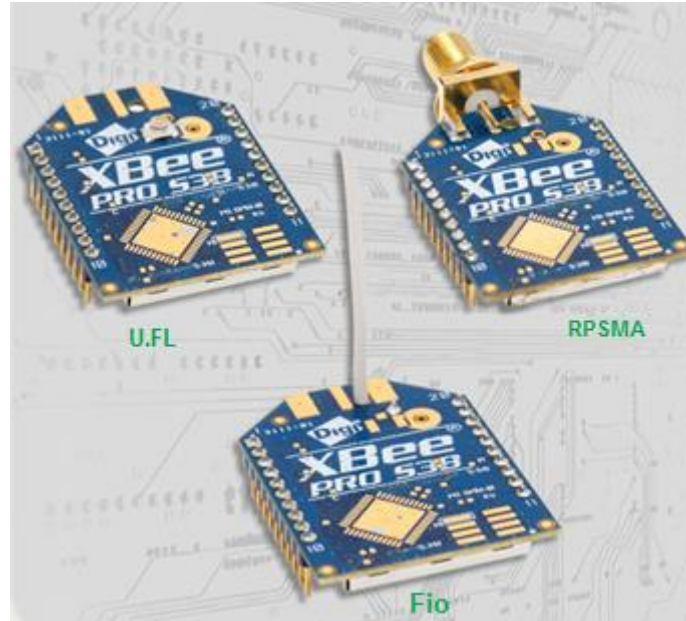
Figura 26 – Características da família *XBee*

XBee® Family Features Comparison											
Protocol	Product	Frequency	Description	RF Line of Sight Range	Form Factor	MSRP	RF Data Rate	Current Draw Tx/Rx	Hardware	Certified Regions	
IEEE 802.11	XBee® Wi-Fi	2.4 GHz	Wi-Fi 802.11b/g/n with easy provisioning, native Device Cloud features	N/A	Through-hole, SMT	\$35.00	1 to 72 Mbps	300 mA / 100 mA	S6B	US, CA, EU, AU, JP	
IEEE 802.15.4	XBee® 802.15.4	2.4 GHz	Best way to get started with point-to-multipoint device connectivity	300 ft / 90 m	Through-hole	\$19.00	250 Kbps	45 mA / 50 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP	
		2.4 GHz	Point-to-multipoint extended range version	1 mile / 1.6 km		\$32.00	250 Kbps	215 mA / 55 mA	S1	US, CA, AU, BR	
		2.4 GHz	International/"J" variant	2500 ft / 1 km		\$32.00	250 Kbps	51	US, CA, EU, AU, BR, JP		
Multipoint Proprietary	XBee-PRO® XSC	900 MHz	Long-range proprietary multipoint connectivity	9 miles / 14.5 km	Through-hole	\$39.00	10 Kbps or 20 Kbps	215 mA / 26 mA	S3B	US, CA, AU	
		808 MHz	Long-range multipoint for Europe	25 miles / 40 km		\$45.00	24 Kbps	500 mA / 65 mA	S5	EU	
ZigBee® PRO Feature Set	XBee® ZB SMT	2.4 GHz	ZigBee mesh networking, low-cost, low-power, surface mount	4000 ft / 1.2 km	SMT	\$17.50	250 Kbps	45 mA / 28 mA	S2C	US, CA, EU, AU, BR, JP	
		2.4 GHz	Extended-range ZigBee, surface mount	2 miles / 3.2 km		\$28.50	250 Kbps	100 mA / 31 mA	S2C	US, CA, AU, BR	
		2.4 GHz	ZigBee mesh, low-cost, low-power, through-hole	400 ft / 120 m		Through-hole	\$17.00	250 Kbps	N/A	S2	US, CA, EU, AU, BR, JP
		2.4 GHz	Extended-range ZigBee, through-hole	2 miles / 3.2 km			\$28.00	250 Kbps	205 mA / 47 mA	S2B	US, CA, AU, BR
	XBee-PRO® ZB	2.4 GHz	International/"J" variant	5000 ft / 1.5 km		\$28.00	250 Kbps	S2B	US, CA, EU, AU, BR, JP		
DigiMesh® Proprietary	XBee-PRO® 900HP	900 MHz	Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers (900 MHz)	9 miles / 14.5 km	Through-hole	\$39.00	10 Kbps or 200 Kbps	215 mA / 20 mA	S3B	US, CA, AU, BR	
		805 MHz or 808 MHz	Low-power peer-to-peer mesh for India (805 MHz) or Europe (808 MHz)	2.5 miles / 4 km		SMT	\$23.00	10 Kbps or 80 Kbps	48 mA / 27 mA	S8	India, EU
	XBee® DigiMesh® 2.4	2.4 GHz	Low-cost, low-power peer-to-peer mesh, sleeping routers	300 ft / 90 m	Through-hole	\$19.00	250 Kbps	45 mA / 50 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP	
		2.4 GHz	Extended-range peer-to-peer mesh, sleeping routers (2.4 GHz)	1 mile / 1.6 km		\$32.00	250 Kbps	250 mA / 55 mA	S1	US, CA, AU, BR	
	XBee-PRO® DigiMesh® 2.4	2.4 GHz	International/"J" variant	3200 ft / 1 km		\$32.00	250 Kbps	150 mA / 55 mA	S1	US, CA, EU, AU, BR, JP	

Fonte: *Digi International* [s.d.]

O fabricante disponibiliza o dispositivo em três versões conforme a forma de antena que atende ao usuário. São elas: fio, conector U.FL (utilizado para conexão com antena externa) e conector RPSM99 (Figura 27). Para o desenvolvimento do trabalho foram adquiridos dois módulos com conector U.FL e dois módulos com antena tipo fio.

Figura 27 – Modelos *XBee-PRO 900HP (S3B) DigiMesh*



Fonte: Albacore

4.1.1.2 Protocolo

O *XBee-Pro 900 HP* possui um protocolo proprietário chamado *DigiMesh*, destinado às redes em malha (*mesh*) e assim como o protocolo *ZigBee*, utiliza como base o padrão IEEE 802.15.4. A principal diferença entre os dois protocolos é o roteamento dos dados, uma vez que na rede *DigiMesh* todos os nós podem exercer essa função e operar no modo baixo consumo, de forma sincronizada.²¹

De acordo com Ramos (2012), o protocolo *DigiMesh* possui as seguintes características:

- a) *self-healing*: qualquer nó pode entrar ou sair da rede sem prejudicar a comunicação existente;
- b) descoberta de rota: em vez de manter um mapa da rede, as rotas são localizadas ou criadas somente quando necessárias;
- c) seletiva confirmação de envio: somente o derradeiro nó responde à confirmação da rota requerida;
- d) entrega confiável: a entrega de um dado é atrelada a confirmação de envio e
- e) modo sono: menor consumo de energia com sincronizado tempo para acordar.

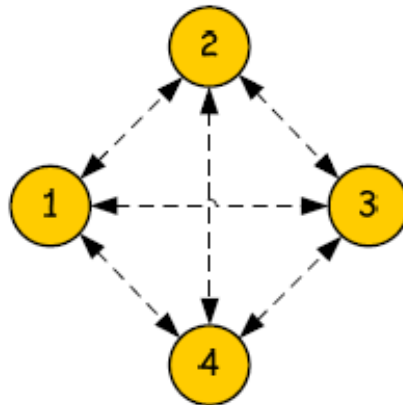
²¹ VIKA CONTROLS. Módulos *XBee*. Disponível em <http://www.vikacontrols.com.br/web/datafiles/produtos/Modulos-Xbee_CatalogoGeral.pdf>. Acesso em 22 jul. 2015.

4.1.1.3 Topologia de rede

O *XBee-Pro 900HP* suporta três topologias de rede:

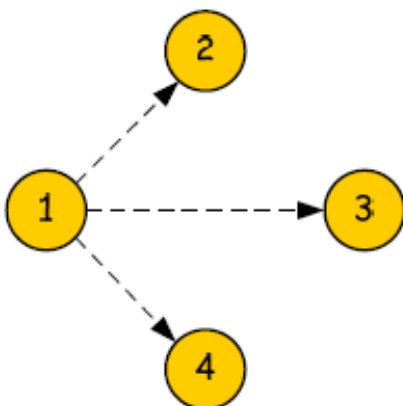
- ponto a ponto: onde todos os dispositivos comunicam entre si dentro de uma mesma área de alcance (Figura 28);
- ponto-multiponto: onde um dispositivo pode comunicar-se com todos dentro de uma mesma área de alcance, por meio de uma mensagem *broadcast* (forma como a informação é enviada para todos os dispositivos da rede). A Figura 29 mostra a comunicação de 1 com todos dentro de seu alcance e
- malha (*mesh*): onde mesmo com um dispositivo fora de alcance, a rede se reorganiza de forma que a informação chegue ao dispositivo que estava fora da área de alcance. A Figura 30 mostra a comunicação do dispositivo 1 com o 5 por meio de saltos com outros dispositivos.

Figura 28 – Topologia ponto-a-ponto



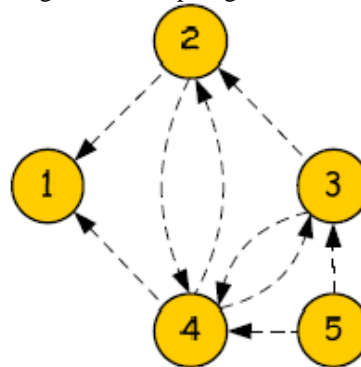
Fonte: *Electro Componentes*

Figura 29 - Topologia ponto-multiponto



Fonte: *Electro Componentes*

Figura 30 – Topologia em malha



Fonte: *Electro Componentes*

4.1.1.4 Alcance

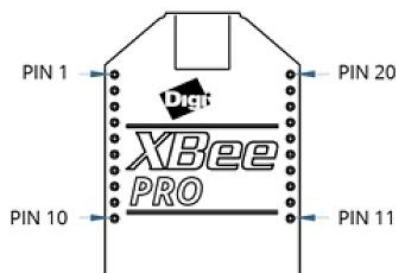
Em áreas urbanas e em ambientes internos o fabricante estima um alcance de até 610 metros. Já em ambientes externos, sem obstáculos, o alcance pode atingir 14 quilômetros com antena dipolo e até 45 quilômetros com uso de antenas de alto ganho.²²

4.1.1.5 Hardware do módulo

O módulo *XBee-Pro 900HP* possui diversos periféricos implementados, tais como saídas e entradas digitais, conversores analógico-digital, saída por Modulação por Largura de Pulso, ou *Pulse-Width Modulation* (PWM), canal de comunicação UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmission*), por isso que eles têm facilidade de implementação (RAMOS, 2012). A Figura 31 mostra a posição física dos pinos do *XBee-Pro 900HP* e a Figura 32 as possíveis funções que cada pino pode assumir.

Figura 31 – Posição física dos pinos módulo *XBee*

XBee-PRO



Fonte: *Digi International* (2015a, p.18)

²² DIGI INTERNATIONAL. *XBee-PRO 900HP*: Módulo RF Embarcável - 900 MHz. 2012-2013. Disponível em <http://www.digi.com/pdf/ds_xbeepro900hp_pt.pdf>. Acesso em 26 jul. 2015.

Figura 32 – Descrição das funções dos pinos do módulo XBee

Pin #	Name	Direction	Default State	Description
1	VCC			Power supply.
2	DOUT/DIO13	Both	Output	GPIO / UART data out.
3	DIN/nConfig/DIO14	Both	Input	GPIO / UART data in.
4	DIO12/SPI_MISO	Both	Output	GPIO / SPI slave out.
5	RESET	Input		Module Reset. Drive low to reset the module. This is also an output with an open drain configuration with an internal 20 K ohm pull-up (never drive to logic high, as the module may be driving it low). The minimum pulse width is 1 mS.
6	DIO10/PWM0	Both		GPIO / RX Signal Strength Indicator.
7	DIO11/PWM1	Both		GPIO / Pulse Width Modulator.
8	Reserved		Disabled	Do not connect.
9	nDTR/SLEEP_RQ/DIO8	Both	Input	GPIO / pin sleep control line (DTR on the development board).
10	GND			Ground.
11	DIO4/SPI_MOSI	Both		GPIO/SPI slave in.
12	nCTS/DIO7	Both	Output	GPIO / clear-to-send flow control.
13	On_nSLEEP/DIO9	Output	Output	GPIO / module status indicator.
14	VREF	Input		Internally used for programmable secondary processor. For compatibility with other XBee modules, we recommend connecting this pin to the voltage reference if Analog Sampling is desired. Otherwise, connect to GND.
15	Associate/DIO5	Both	Output	GPIO / associate indicator.
16	nRTS/DIO6	Both	Input	GPIO / request-to-send flow control.
17	AD3/DIO3/SPI_nSSEL	Both		GPIO / analog input / SPI slave select
18	AD2/DIO2/SPI_CLK	Both		GPIO / analog input / SPI clock
19	AD1/DIO1/SPI_nATTN	Both		GPIO / analog input / SPI attention
20	AD0/DIO0	Both		GPIO / analog input

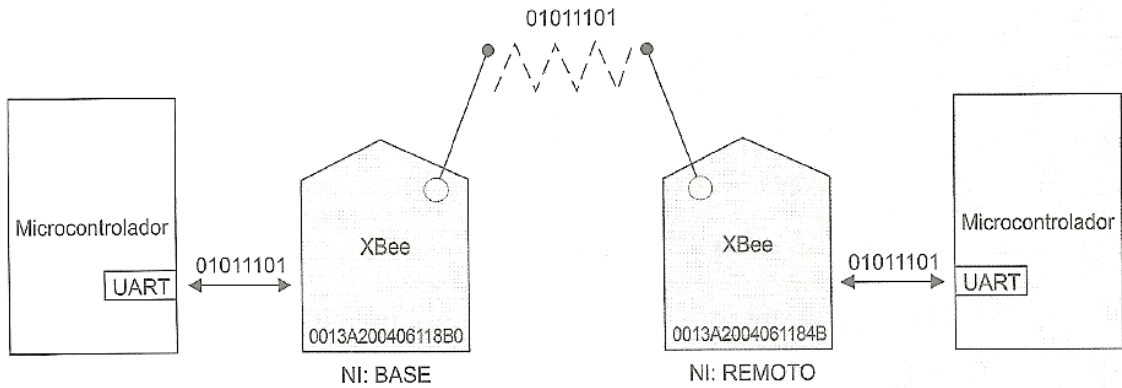
Fonte: *Digi International* (2015a, p.19)

4.1.1.6 Modos de comunicação

Os módulos XBee possuem dois modos de comunicação:

- a) modo Transparente (AT): é a forma de comunicação mais simples, feita exclusivamente entre dois módulos XBee: tudo que se recebe se envia. A maior desvantagem desse método é não utilizar os recursos da rede *DigiMesh*. A Figura 33 mostra um microcontrolador, à esquerda, enviando um dado (*byte* 01011101) que é transmitido pelo modo XBee nele conectado, diretamente para o módulo XBee (à direita) e, em seguida, para o microcontrolador e

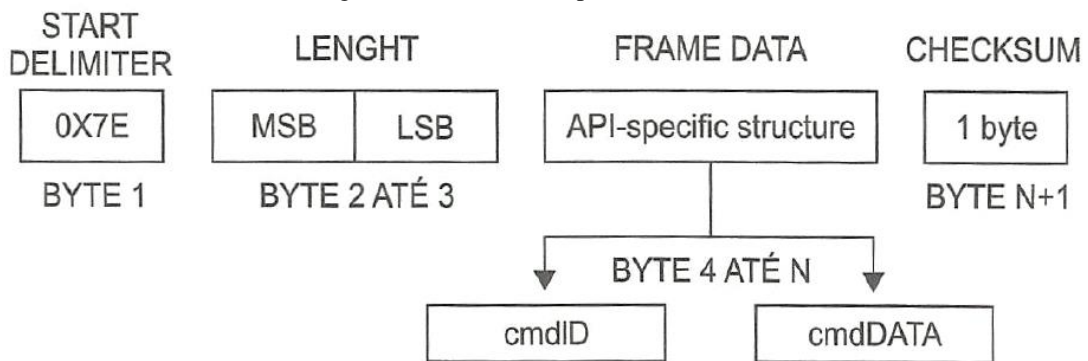
Figura 33 – Modo de comunicação transparente (AT)



Fonte: Ramos (2012)

- b) modo API (*Application Programming Interface*): neste modo, os dados transmitidos e recebidos estão contidos em *frames* (Figura 34), que definem operações ou eventos dentro do módulo. A vantagem desse método é a utilização máxima da rede *DigiMesh*, maior controle dos dados por introdução de dados de controle de erro (*checksum*), endereço de origem, configuração remota, entre outras aplicações.

Figura 34 – Formato do pacote de dado API



Fonte: Ramos (2012)

Os campos do *frame* são:

- start delimiter*: o byte 0x7E informa aos módulos *XBee* remotos que a comunicação foi iniciada em modo API, dessa forma eles passarão a decifrar os *bytes* seguintes como um pacote de dados;
- length*: indica a quantidade de dados que contém *frame*;
- frame data*: é nele que se encontra o identificador de comando (*cmdID*), que mostra qual será o comando a ser executado pelo módulo. Os comandos suportados são

mostrados na Figura 35 e

- d) *checksum*: é a forma que o dispositivo valida a integridade dos dados recebidos. O controle de verificação é realizado somando-se todos os valores do campo *frame data* e do campo *checksum*. Se o resultado da soma for 0xFF, o pacote de dados foi recebido com sucesso.

Figura 35 – Nomes e valores do pacote API

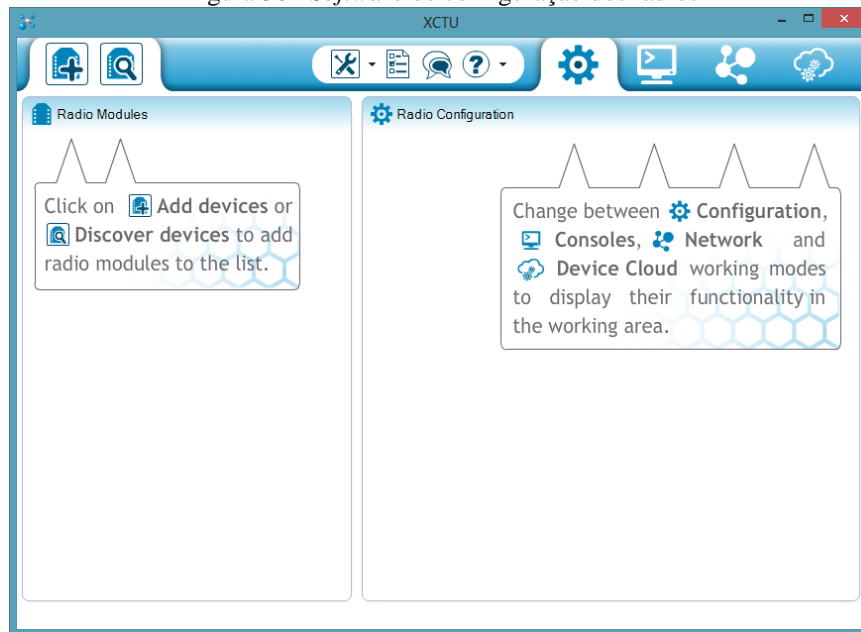
Nome do dado API ID	Função	Valor em hexadecimal
AT command	Configura salvando ou lê um determinado local no módulo	0x08
AT command - Queue	Configura sem salvar ou lê o valor de um parâmetro local no módulo	0x09
ZigBee Transmit Request	Comando ZigBee que solicita uma transmissão para um determinado endereço	0x10
Explicit Addressing ZigBee Command Frame	Permite que os endpoints e cluster ID sejam especificados por um pacote de transmissão	0x11
Remote AT Command Request	Utilizado para solicitar ou configurar parâmetros de um módulo remoto usando comando AT	0x17
Creat Source Route	Cria uma rota de comunicação no módulo	0x21
AT Command Response	Responde a solicitação de um comando AT	0x88
Modem Status	Retorna o status do módulo para um determinado evento	0x8A
ZigBee Transmit Status	Indica se a transmissão do último pacote foi transmitido com sucesso	0x8B
ZigBee Receiver Packet	Recebe um pacote pelas portas UART do módulo	0x90
ZigBee Explicit Rx Indicator (AO=1)	Quando o módulo recebe um pacote ZigBee Transmit Packet, é enviado esse pacote pela UART	0x91
ZigBee IO Data Sample Rx Indicator	São enviados pela UART os status das portas digitais e os valores da conversão analógica	0x92
XBee Sensor Read Indicator (AO=0)	Recebe leitura dos sensores	0x94
Node Identification Indicator (AO=0)	Recebe as identificações do módulo remoto	0x95
Remote Command Response	Recebe esse pacote em resposta ao comando Remote Command Request	0x97
Over-the-Air Firmware Update Status	Fornecer a indicação do status da atualização do firmware	0xA0
Route Record Indicator	É recebido quando o módulo envia um ZigBee route record command	0xA1
Many-to-One Route Request Indicator	É enviado pela UART quando many-to-one route request command é recebido	0xA3

Fonte: Ramos (2012)

4.1.1.7 XCTU

A configuração dos módulos *XBee* é realizada exclusivamente por meio do *software* XCTU fornecido pela *Digi International*. Nesse *software* é possível atualizar o *firmware* do módulo *XBee* e configurar todos os parâmetros necessários para comunicação em rede (Figura 36).

Figura 36 - *Software* de configuração dos rádios



Fonte: *Digi International* (2015b)

4.1.2 Acessórios dos módulos *XBee*

4.1.2.1 *XBee Explorer Dongle*

Os módulos *XBee* comunicam de forma serial assíncrona com qualquer dispositivo que utiliza o padrão UART de comunicação serial. A comunicação serial entre dois dispositivos necessita que as duas UARTs estejam configuradas com parâmetros compatíveis (taxa de transmissão, paridade, *bit* de início, *bit* de parada e *bits* de dados). O protocolo de comunicação utilizado pela UART é igual ao RS-232, onde cada pacote de dados contém um *bit* de início (baixo), 8 *bits* de dados e um *bit* de parada (alto) (RAMOS, 2012; ROA; FRUETT; 2010).

Para facilitar a conexão do módulo *XBee-Pro 900HP* ao computador – seja para atualização do *firmware*, para controle ou coleta de dados –, foi utilizado o *XBee Explorer Dongle* (Figura 37). Em suma, ele é um conversor *Universal Serial Bus* (USB) para serial.

Possui qualidades como: regular a tensão de alimentação do módulo, possuir um botão *reset*, e quatro *leds* que ajudam a visualizar a operação do *XBee*: Rx, Tx, alimentação e o RSSI (indicador de intensidade do sinal).²³

Figura 37 – *XBee Explorer Dongle*



Fonte: *Sparkfun*

4.1.2.2 *Pig tail e antena*

Os módulos *XBee-Pro 900-HP* adquiridos com conector U.FL necessitam de dois acessórios para que possam funcionar corretamente:

- a) *Pig tail*: é adaptador U.FL para um conector tipo N. É usado em aplicações onde necessita ligar uma antena externa (Figura 38).

Figura 38 – Conector *pig tail*



Fonte: *EMSTech*

- b) Antena: segundo a definição oficial da *The IEEE Standards Association* (2013), pode

²³ SPARKFUN. *SparkFun XBee Explorer Dongle*. Disponível em <<https://www.sparkfun.com/products/11697>>. Acesso em 22 jul. 2015

ser definida como “um meio para irradiar ou receber ondas de rádio” (Figura 39).

Figura 39 – Antena omnidirecional *Hyperlink 2.4Ghz HGV2409U* utilizada



Fonte: Net Computadores

4.1.3 Configurações e testes de comunicação

O primeiro teste de comunicação entre módulos *XBee* foi realizado no modo transparente (AT). Como foi dito anteriormente, esse modo de comunicação é o mais simples e feito apenas entre dois dispositivos. Para fazer esse teste, utilizou-se dois *notebooks* com o *software XCTU* instalado, dois módulos *XBee* e dois adaptadores USB-serial (*XBee Explorer Dongle*) (Figura 40).

Figura 40 – Comunicação modo transparente



Fonte: Autoria própria

Após configurar cada dispositivo, cria-se uma nova rede e parametriza-se endereço de destino dos dados de cada *XBee*. O teste tem como objetivo verificar a transmissão e recepção

de dados seriais por meio da aba “terminal” que o *software* XCTU disponibiliza.

O segundo teste de comunicação foi feito no modo API. Após conseguir comunicar em modo transparente, os módulos foram colocados no modo API. O objetivo é fazer com que cada dispositivo *XBee* envie pela sua porta serial os estados de suas portas digitais e analógicas de forma periódica.

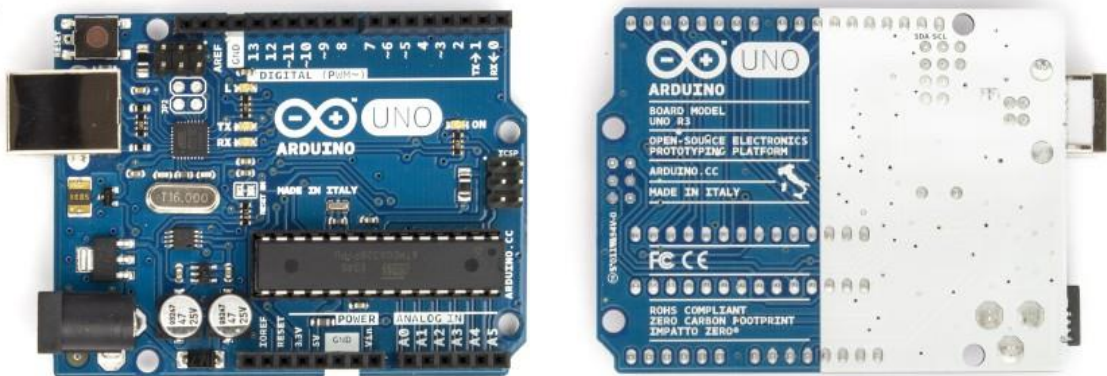
4.2 Sistema de interface e aquisição de dados dos rádios

4.2.1 Componentes do sistema

4.2.1.1 *Arduino Uno*

“Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseado em hardware e software de fácil utilização. É destinado para qualquer um fazer projetos interativos” (ARDUINO, 2015). A Figura 41 mostra o modelo *Arduino Uno R3* utilizado no trabalho devido à facilidade de implementação, montagem em circuito e o baixo custo de aquisição.

Figura 41 – *Arduino Uno R3* (frente e verso)



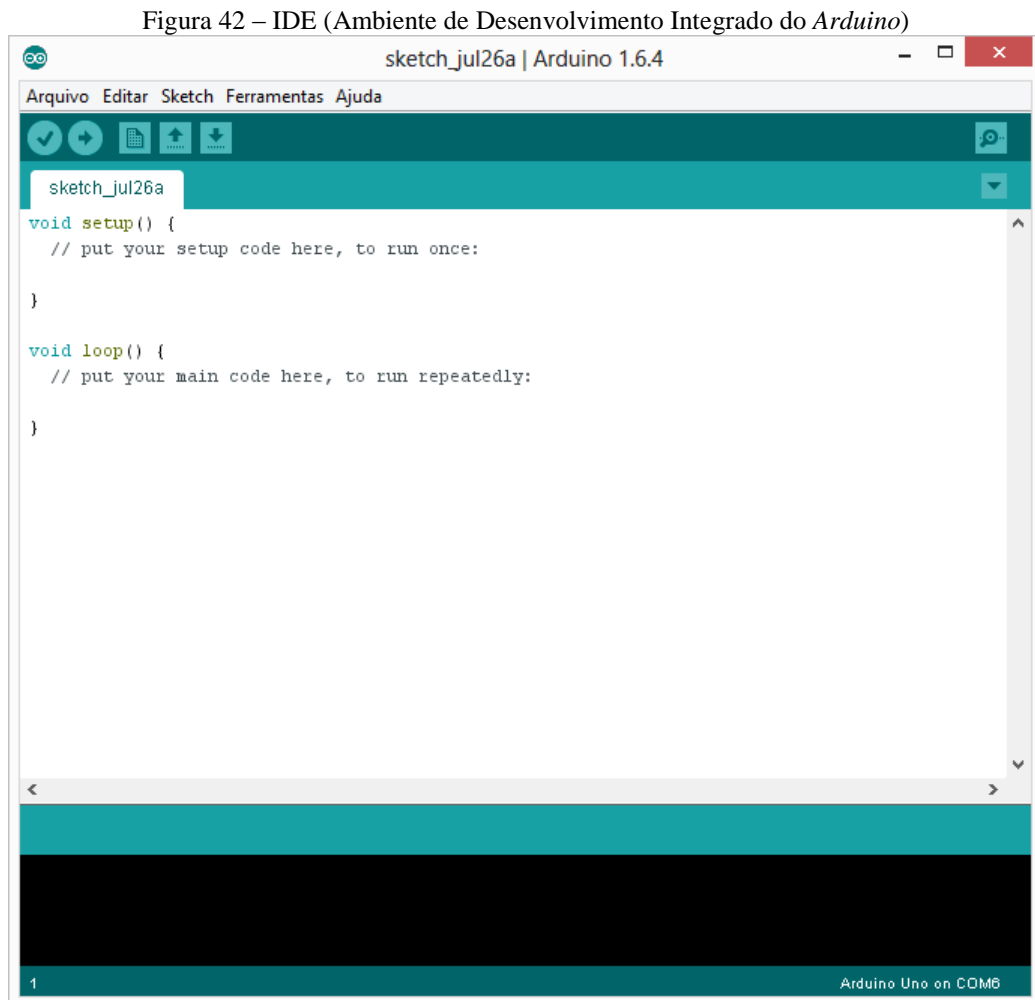
Fonte: *Flipkart*

4.2.1.2 *Características*

O *Arduino Uno R3* possui 14 entradas/saídas digitais (das quais, 6 podem ser usadas como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, conexão USB, uma entrada para fonte e um botão de *reset* (ARDUINO, 2015).

4.2.1.3 *Integrated Development Environment – Arduino*

O Ambiente de Desenvolvimento Integrado, ou *Integrated Development Environment* (IDE), é o *software* utilizado para escrever o código de programação (Figura 42). A programação é feita na linguagem *Processing* (linguagem de programação baseada na linguagem C). Ela é de fácil entendimento e possui bibliotecas que favorecem aplicações que são mais usuais (McROBERTS, 2011).

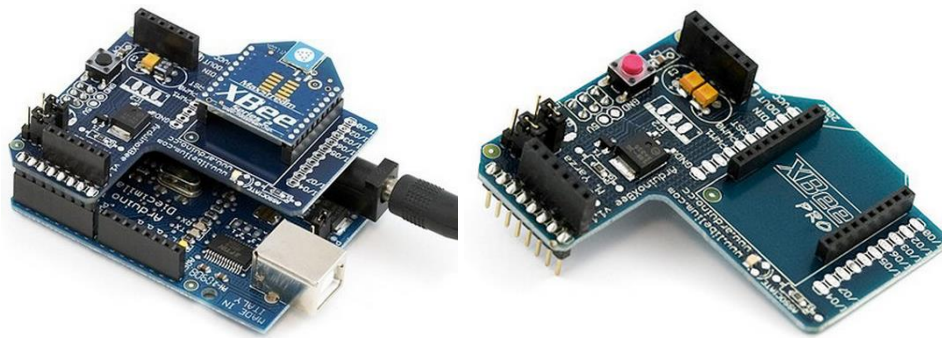


Fonte: Adaptado de McRoberts (2011, p.32)

4.2.1.4 *XBee Shield*

O *XBee Shield* é uma placa de expansão de *hardware* que se encaixa na placa *Arduino* principal. Sua função é ser uma interface entre o módulo *XBee* e o *Arduino* (Figura 43).

Figura 43 – Placa *XBee Shield*

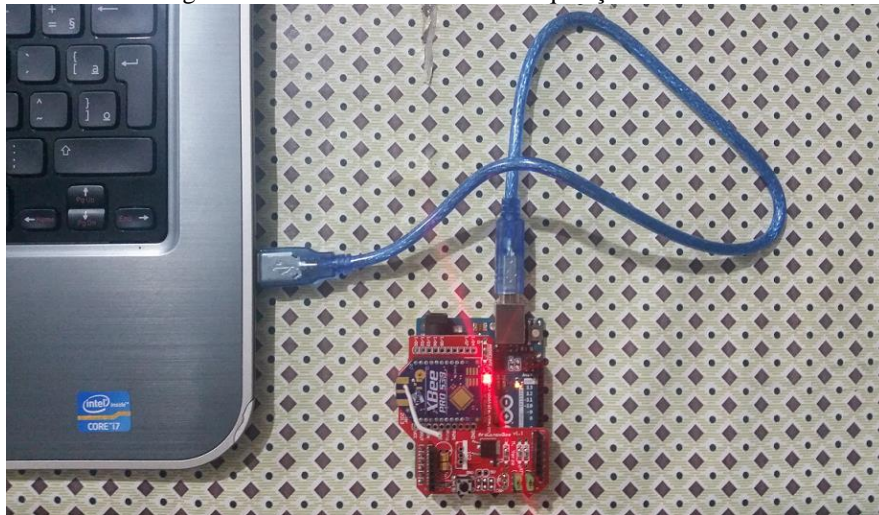


Fonte: *Filipeflop*

4.2.2 Programação e testes

O sistema de interface e aquisição de dados é formado pelo conjunto composto pelo *Arduino*, *XBee Shield* e o *XBee* (Figura 44).

Figura 44 – Sistema de interface e aquisição de dados



Fonte: *Autoria própria*

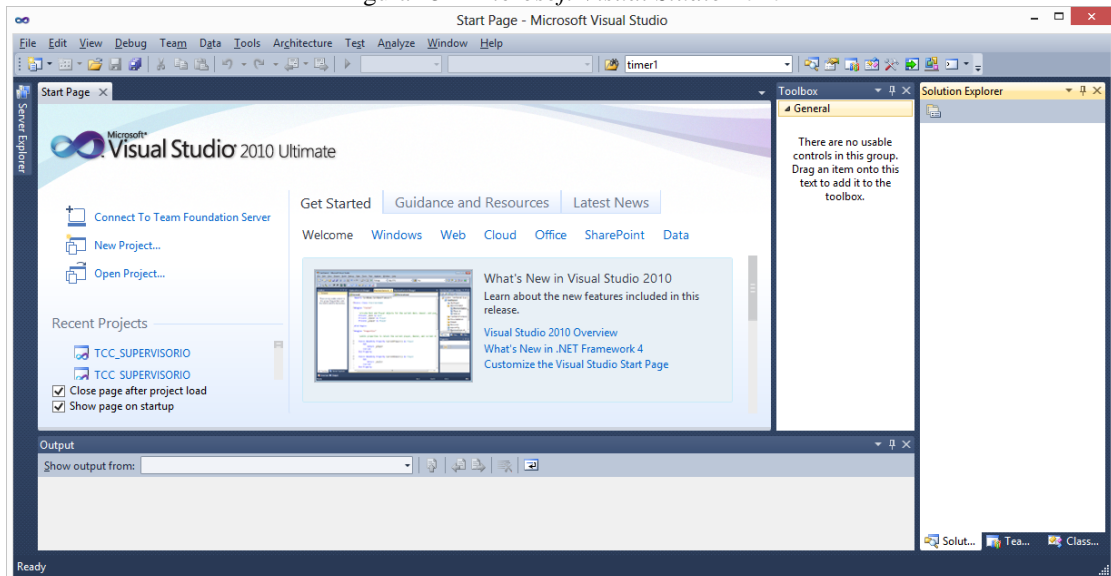
O *Arduino* foi programado por meio do IDE. O algoritmo escrito no *Arduino* deve receber os dados vindos do *XBee* nele acoplado, armazenar e, logo após, retransmitir os dados por sua porta serial, que posteriormente será selecionada para comunicar-se com aplicativo supervisorio criado no *software Microsoft Visual Studio*.

4.3 Sistema de supervisão e tratamento de dados

4.3.1 Microsoft Visual Studio 2010

Segundo o *website* do fabricante, o *software Microsoft Visual Studio* é “um ambiente de desenvolvimento integrado e sofisticado para criação de aplicativos impressionantes para Windows, Android e iOS, de aplicativos Web modernos e serviços de nuvem”.²⁴ Essa ferramenta de desenvolvimento é completa, possui editor de código, compilador, modelos de projetos, designers, assistentes de código, depurador poderoso e outras ferramentas que facilitam a sua utilização (Figura 45).

Figura 45 – *Microsoft Visual Studio 2010*



Fonte: *Visual Studio*

O sistema de supervisão e aquisição de dados é o aplicativo desenvolvido no *software Microsoft Visual Studio* que deve tratar os *frames* recebidos pelo sistema de interface e aquisição, de forma que consiga identificar qual *XBee* está enviando dados e fazer uma animação gráfica de seus sinais.

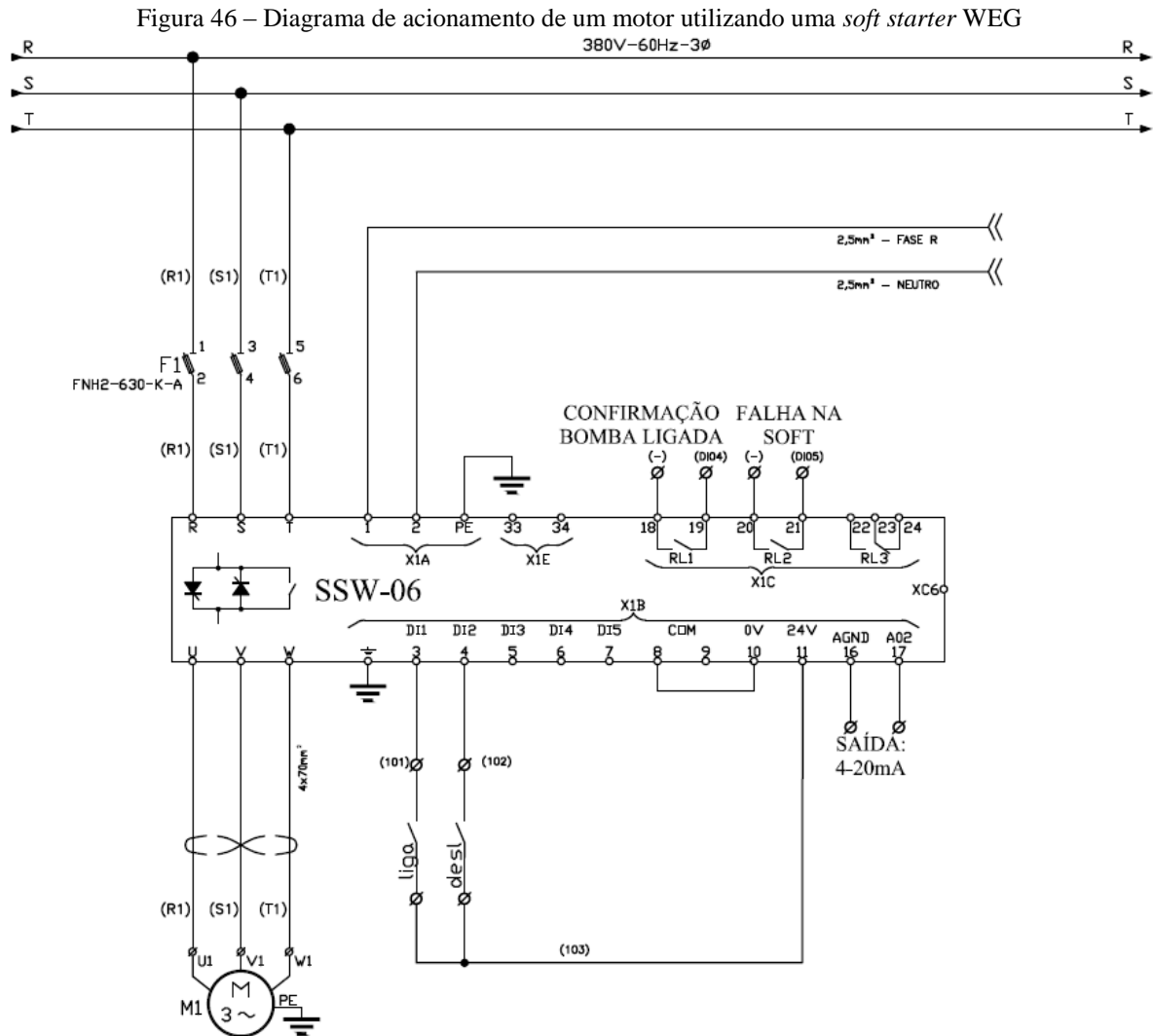
4.4 Sistema de aquisição de sinais de campo

4.4.1 Equipamentos existentes

Na maioria dos poços instalados para o acionamento das bombas utiliza-se uma *soft starter*, dispositivo de acionamento e controle da partida da bomba. A Figura 46 mostra um

²⁴ VISUAL STUDIO. **Microsoft Developer Tools**. Disponível em <<https://www.visualstudio.com>>. Acesso em 24 jul. 2015.

diagrama de ligação utilizando a *soft starter* WEG (SSW06 0170 T 2257 PSZ) de 170 amperes (A), para motor trifásico de 100 cavalos-vapor (cv), 380 volts (V), com Interface Homem Máquina (IHM). Ela é um dispositivo microprocessado que possui dois relés que informam o *status* de funcionamento e falha do motor.



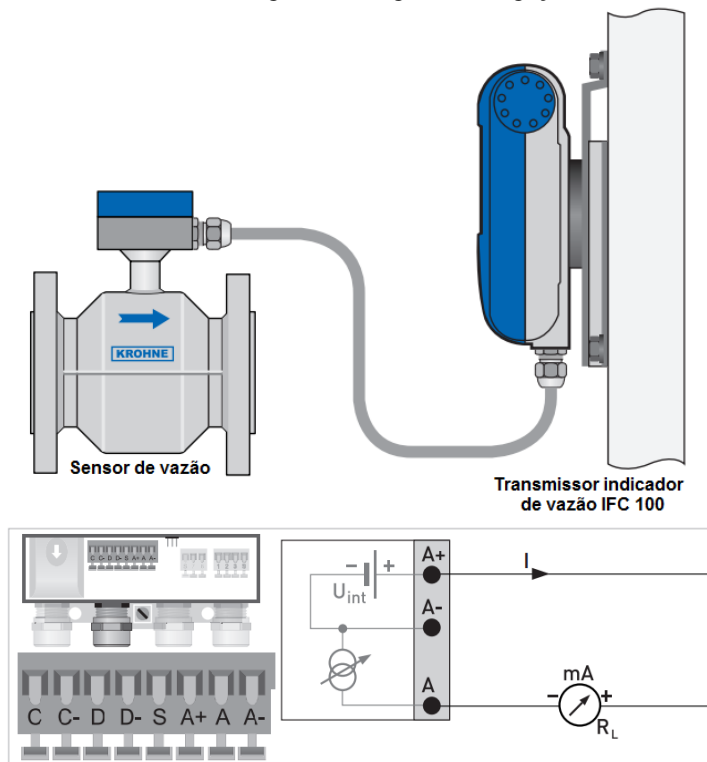
Fonte: Autoria própria

Para medir as vazões dos poços existem dois modelos instalados:

- medidor eletromagnético: possui um *display*, contendo a vazão instantânea e o totalizador da vazão. Ele também possui uma saída analógica de 4 a 20 miliampères (mA), para indicação remota, porém não utilizada (Figura 47) e
- hidrômetro: dispositivo mecânico que possui um relógio onde totaliza o volume de água que passa pelo medidor (Figura 48). Alguns hidrômetros possuem sensores que se acoplam ao relógio indicador e soltam um sinal pulsante. Este sinal, se tratado

eletronicamente, pode determinar a vazão instantânea do fluxo de água que passa pelo medidor, de forma remota (Figura 49).

Figura 47 – Medidor de vazão eletromagnético, diagrama de ligação saída de 4 a 20 mA



Fonte: Adaptado de Krohne (2008, p.10, p.11, p.41)

Figura 48 – Hidrômetro



Fonte: Allbiz

Figura 49 – Emissor de pulso (Sensor Cyble)



Fonte: Hidrovolt

4.4.2 Definição dos dados monitorados

Para monitoração dos poços tubulares profundos, define-se os seguintes sinais:

- a) ligado;
- b) desligado;
- c) falha (do motor);
- d) falha de comunicação (rádios);
- e) vazão (recebida de forma analógica ou forma pulsante) e
- f) totalizador de vazão.

4.4.3 Simulação dos sinais

Não foi possível realizar o acoplamento dos sinais de funcionamento e vazão dos poços devido: falta de disponibilidade de tempo durante a jornada de trabalho (o trabalho não foi desenvolvido na empresa) e a mobilização de outras equipes como a de operação (abertura de procedimentos); equipe de manutenção elétrica (realização de bloqueio da bomba), transporte, entres outros.

Para contornar este problema foi montado um sistema que simulasse todos os sinais propostos para monitoramento de um poço tubular e que trouxesse um resultado muito próximo do real.

Esse sistema foi montado para que simule todos os sinais propostos para monitoramento de um poço tubular. O módulo *XBee* possui um *hardware* com várias opções de pinos programáveis. Para o projeto adotou-se os seguintes pinos e suas funções:

- a) pino 20 – entrada analógica (AN0): responsável por receber o valor do sinal analógico que vem do medidor de vazão (4 a 20 mA);
- b) pino 15 – entrada digital (DI05): responsável por receber o sinal de falha da *soft starter*;

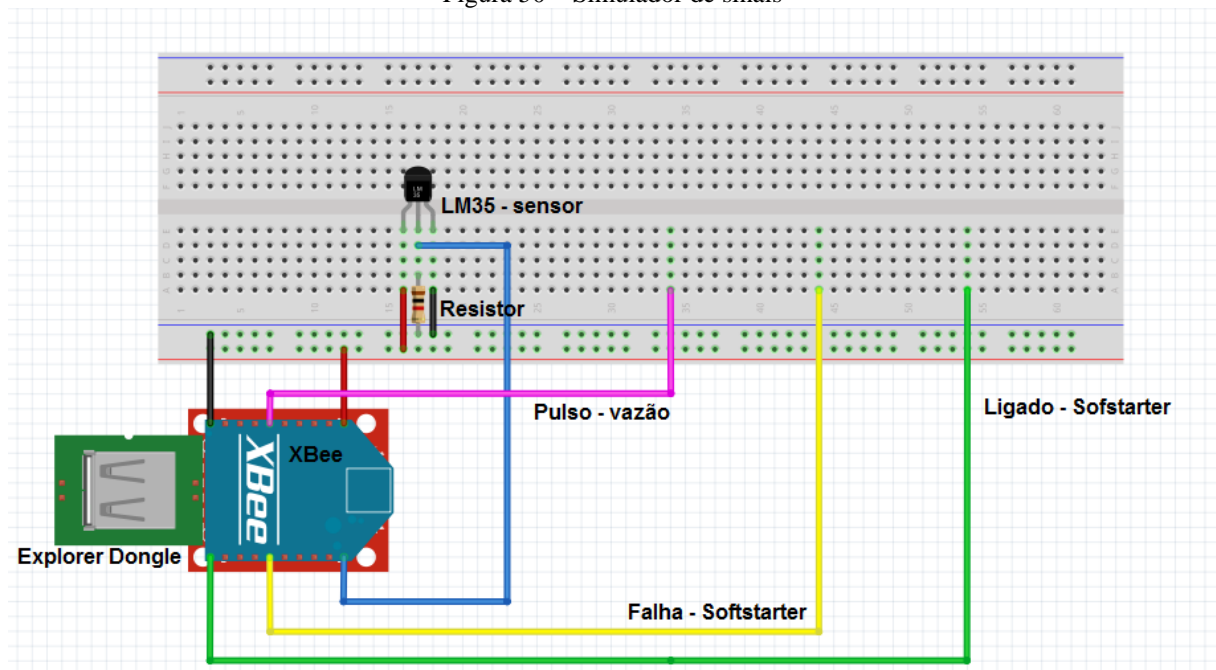
- c) pino 15 – entrada digital (DI04): responsável por receber o sinal de funcionando da *soft starter* e
- d) pino 06 – entrada digital (DI10): responsável por receber o sinal pulsante (caso o instrumento de medição de vazão seja o hidrômetro)

A montagem desse sistema necessita de uma bateria com conexão USB, um *XBee*, um *XBee Explorer Dongle*, que foi utilizado como regulador de tensão, um *protoboard* (placa de interligação), jumpers, um resistor e um LM35 (sensor de temperatura) (Figura 50).

4.5 Testes de alcance

Foram realizados dois testes de alcance: um em área urbana e o outro em área de mina foco do trabalho.

Figura 50 – Simulador de sinais



Fonte: Autoria própria

5 RESULTADOS

Serão abordados os resultados individuais de cada sistema citado anteriormente.

5.1 Sistema de rádio transmissão

A configuração dos módulos em modo transparente foi realizada. Uma vez criada a rede entre os módulos, todos dados escritos no terminal (onde se envia e recebe dados da porta serial) do *software* XCTU em um dos *notebooks* devem aparecer na outra tela do terminal do *software* XCTU do outro *notebook*, confirmando que a rede entre os módulos foi estabelecida.

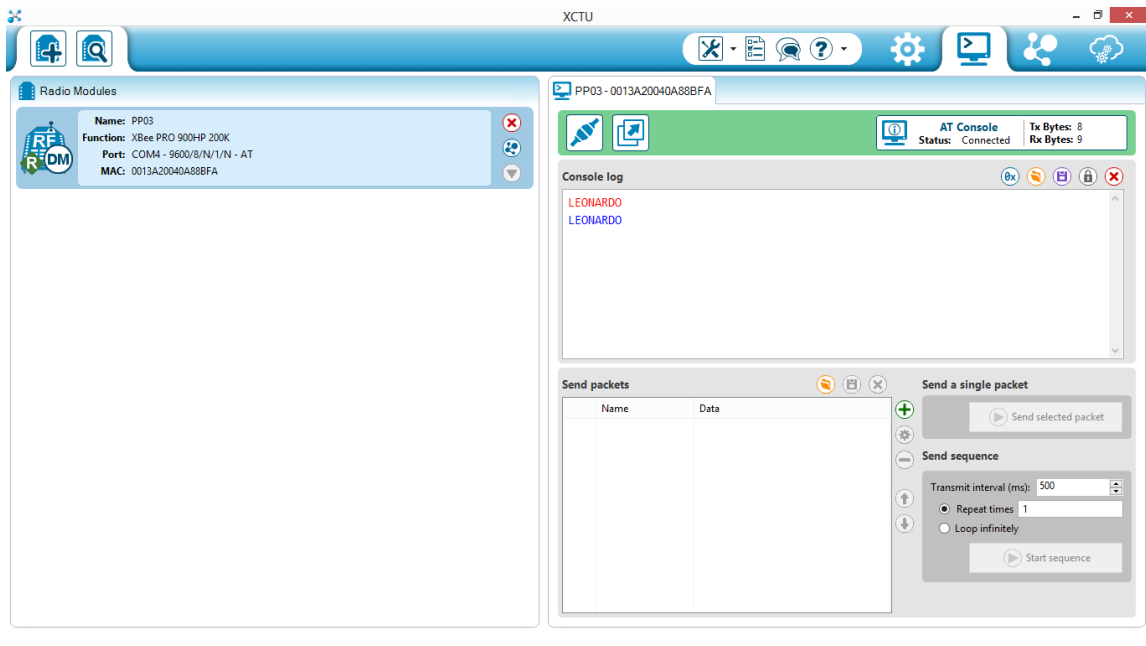
Na Figura 51, nota-se que *XBee* à esquerda transmite o sinal: a palavra LEONARDO, em azul, mostrando que está enviando. Já o outro *XBee* recebe a palavra LEONARDO, em vermelho, sinal que está recebendo (Figura 52). De forma análoga, o *Xbee* da esquerda transmite a mesma palavra (azul) e o *XBee* da direita recebe a palavra LEONARDO, confirmando a comunicação entre os módulos.



Fonte: Autoria própria

Os módulos *XBee* configurados nesse modo transparente transmitem e recebem os sinais em sua porta serial, mas podem fazer o mesmo em suas portas de entradas e saídas digitais e analógicas, caso elas estejam configuradas.

Figura 52 – Transmissão e recepção em modo transparente, *notebook* à esquerda



Fonte: Autoria própria

Porém, essa forma de comunicação não atende à aplicação proposta, a de monitorar dois poços. Por isso a necessidade de configurá-los em modo API. Dessa forma, os dois módulos que estavam em modo transparente (AT) foram configurados para modo API. Foi adicionado um novo dispositivo que recebeu o mesmo endereço de rede dos outros dois.

Para verificar o funcionamento da rede em novo modo, após a configuração individual de cada *Xbee*, o *XBee* coordenador (nome dado ao primeiro *Xbee* que criou a rede, e será responsável por receber os dados advindos dos outros *XBee*) foi novamente conectado ao XCTU e os outros dois foram energizados. O *software* XCTU possui uma função chamada *discovery radio devices* (descobrir dispositivos rádios). Caso venha a ser usada, ela encontra todos os rádios que estão na mesma rede. Função utilizada para confirmar a nova rede agora com três dispositivos (Figura 53).

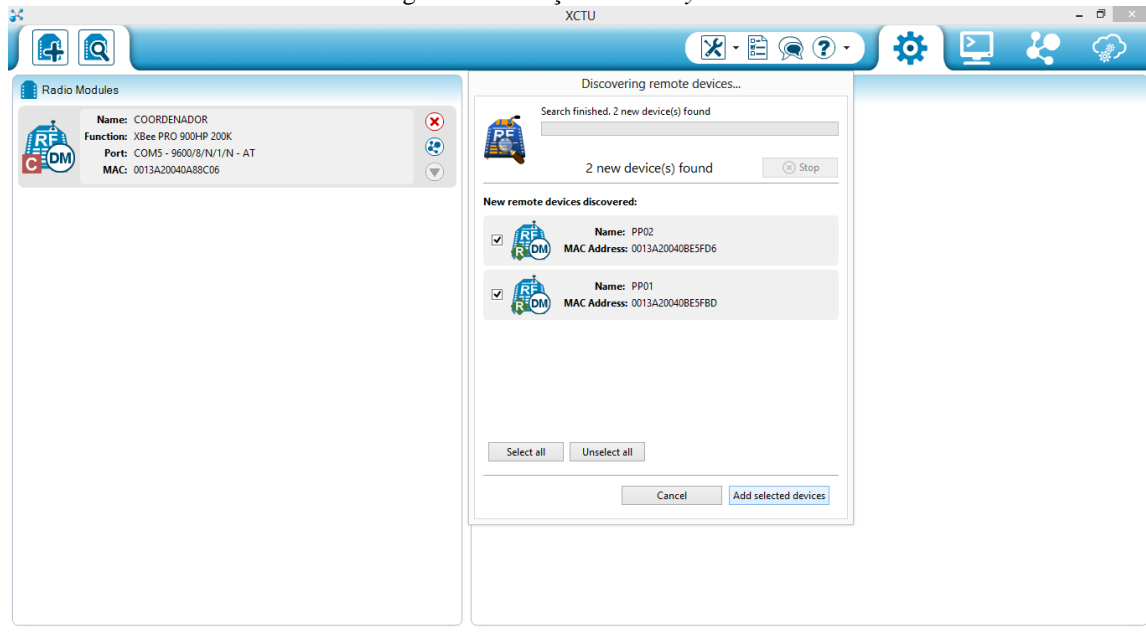
Esse modo de comunicação API é bem mais vantajoso. Uma vez que é possível configurar os outros módulos remotamente, não necessitando programar individualmente cada módulo (Figura 54).

Neste modo, foram definidos o nome e a função de cada dispositivo, conforme a Figura 55.

- a) PP-01: enviar periodicamente os sinais de suas entradas digitais e de sua porta analógica AN0;
- b) PP-02: possui a mesma função do PP-01 e

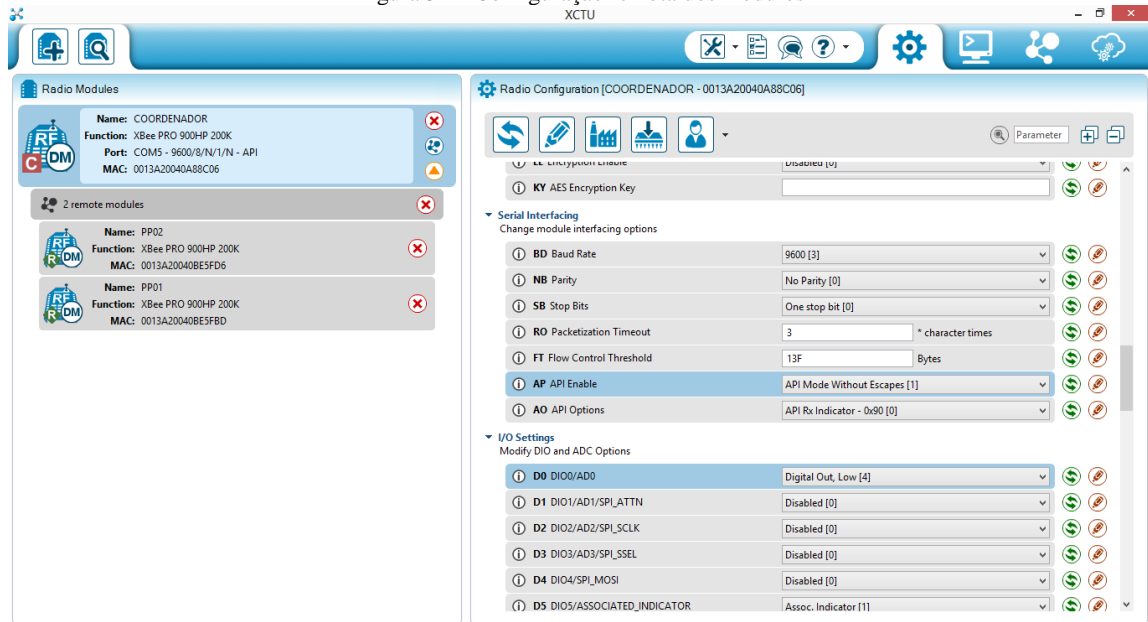
- c) Coordenador: tem a função de receber os dados enviados do PP-01 e PP-02.

Figura 53 – Função *discovery radio devices*



Fonte: Autoria própria

Figura 54 – Configuração remota dos módulos



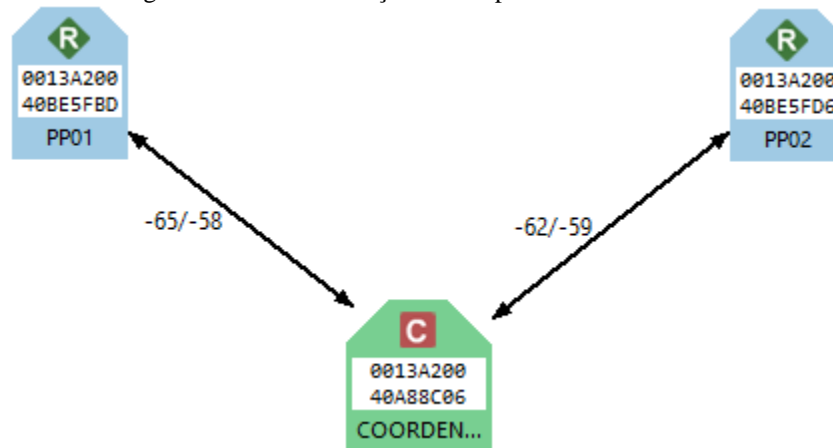
Fonte: Autoria própria

5.2 Sistema de interface e aquisição de dados dos rádios

Nesse sistema o *Arduino* é programado para receber os dados advindos do PP-01 e PP-02 e então retransmiti-los em sua porta serial. O IDE do *Arduino* possui um monitor serial onde

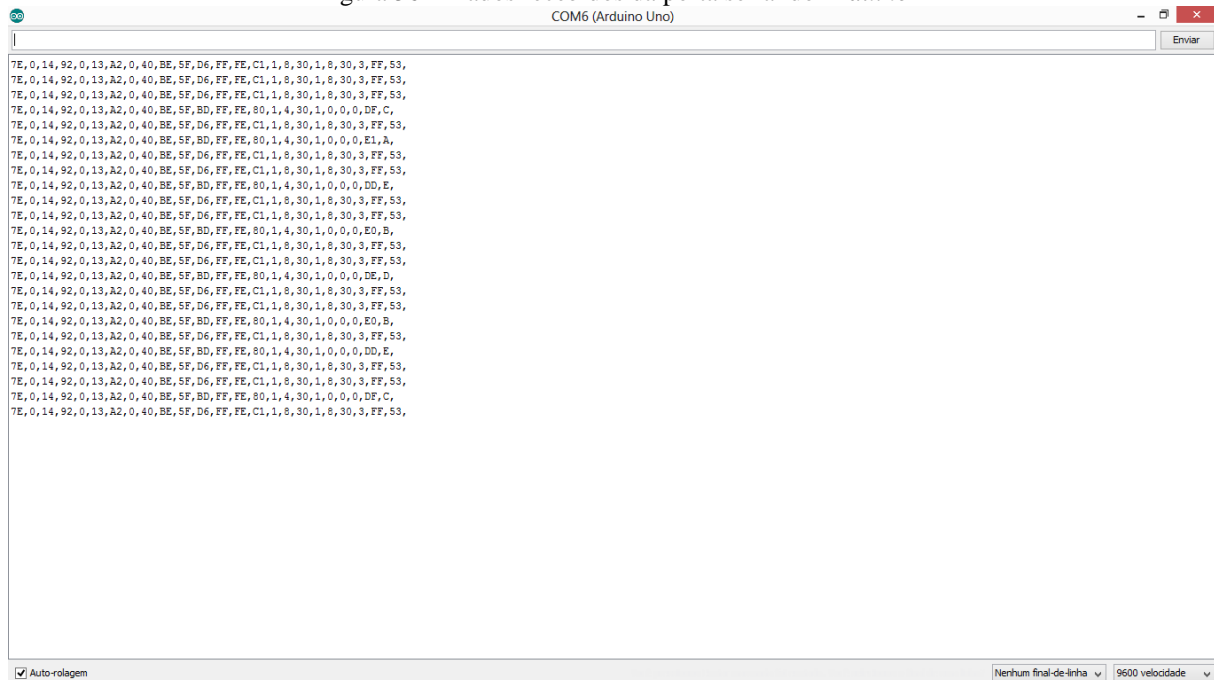
podemos monitorar o que é enviado pela porta serial do Arduino. Assim, após fazer a programação *Arduino* e conectar o sistema de aquisição de dados, foi aberto o monitor serial e verificado os frames enviados do PP-01 e do PP-02 (Figura 56).

Figura 55 – Nome e função dos dispositivos em modo API



Fonte: Autoria própria

Figura 56 – Dados recebidos da porta serial do *Arduino*

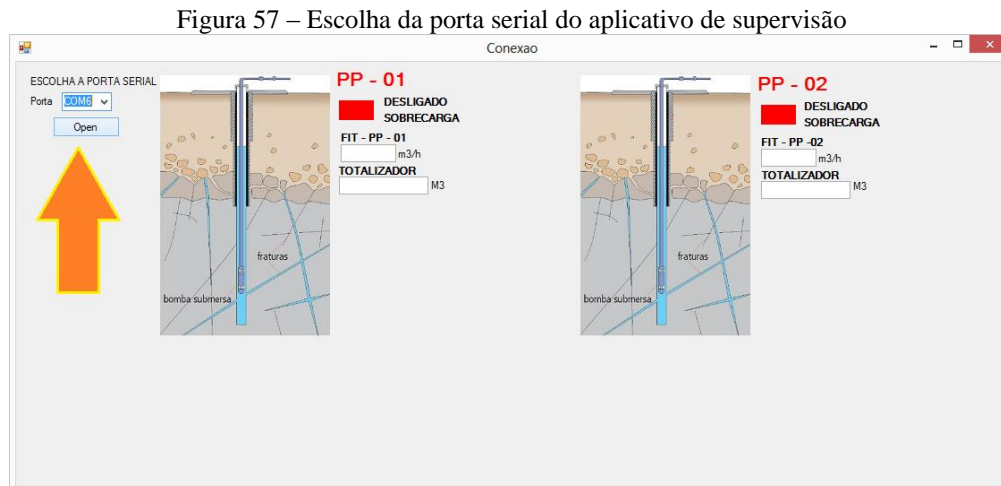


Fonte: Autoria própria

5.3 Sistema de supervisão e tratamento de dados

O sistema de supervisão, aplicativo desenvolvido no *software Microsoft Visual Studio*, trata os dados *frame* (*ZigBee IO Data Sample*, Figura 35) que são recebidos pela porta serial do

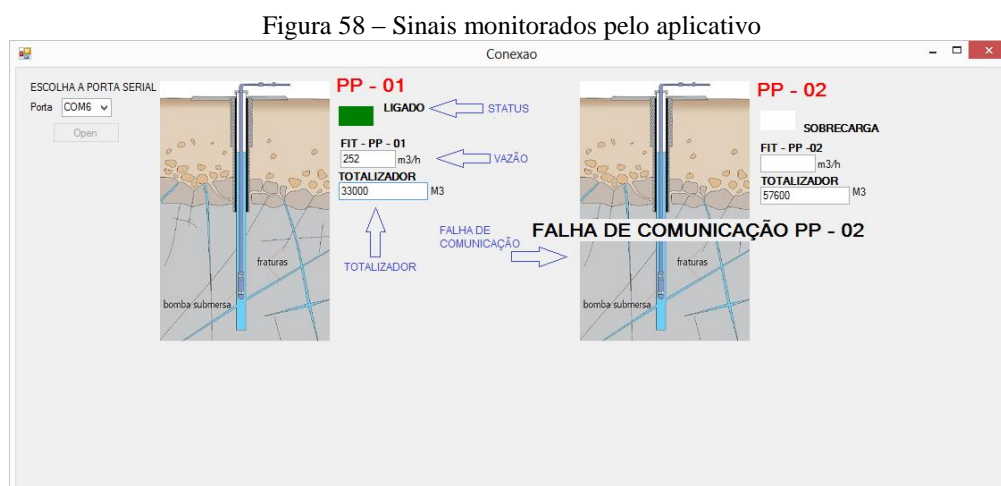
sistema de interface e aquisição, de forma que esses dados se tornem números, animações e alarmes na tela de supervisão. Para iniciar o sistema, o aplicativo possui um local para escolha da porta serial que o *Arduino* está conectado (Figura 57).



Fonte: Autoria própria

O aplicativo é capaz de monitorar nos dois dispositivos *XBee* (Figura 58):

- status* da bomba: ligado (VERDE), desligado (AZUL) e falha (sobrecarga, VERMELHO);
- falha de comunicação: caso o dispositivo venha a falhar o envio de dados (*status* BRANCO e um alarme – FALHA DE COMUNICAÇÃO PP-0X);
- vazão instantânea: conversão do sinal analógico (AN0 – pino *XBee*) ou cálculo do sinal pulsante (DI10) e
- totalizador: acumulado das vazões instantâneas.

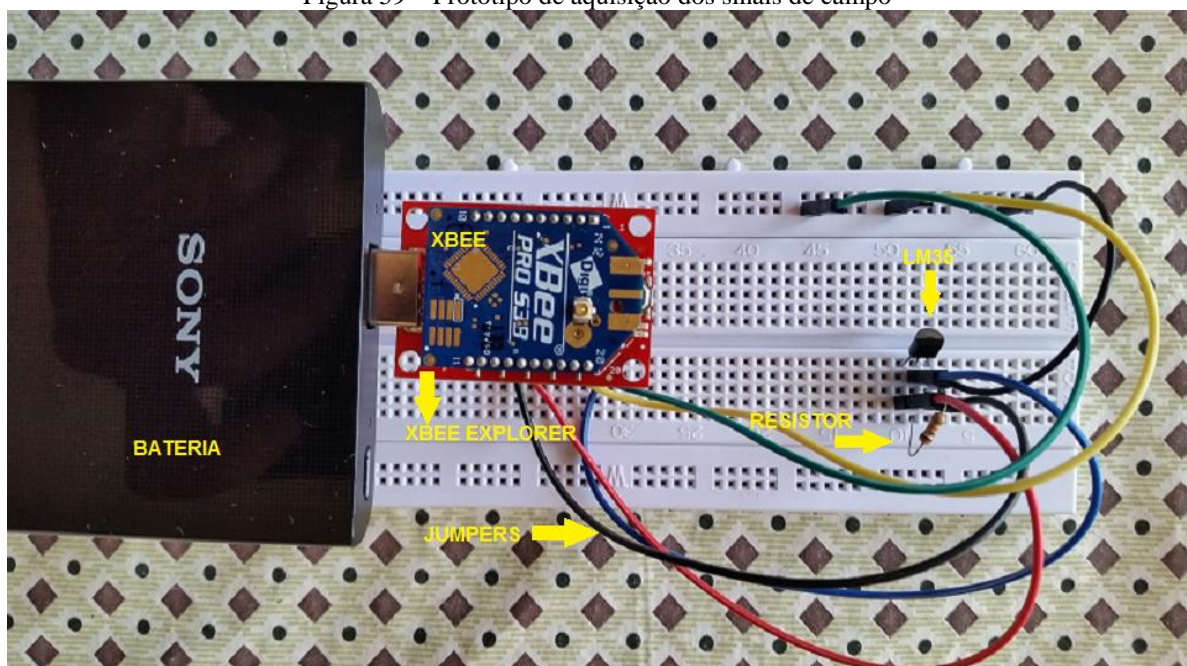


Fonte: Autoria própria

5.4 Sistema simulado de aquisição de sinais de campo

A Figura 59 mostra o sistema simulado de aquisição dos sinais de campo montado. Esse sistema simula os sinais definidos para monitorar um poço. O protótipo foi necessário para o desenvolvimento do trabalho. Os sinais discretos são simulados por *jumpers* conectados ao terra. Já o sensor LM35 é um sensor de temperatura (que possui em sua saída um sinal de 10 milivolts (mV) para cada grau Celsius de temperatura). O sinal analógico do sensor LM35 simula o sinal que viria do sensor de vazão.

Figura 59 – Protótipo de aquisição dos sinais de campo



Fonte: Autoria própria

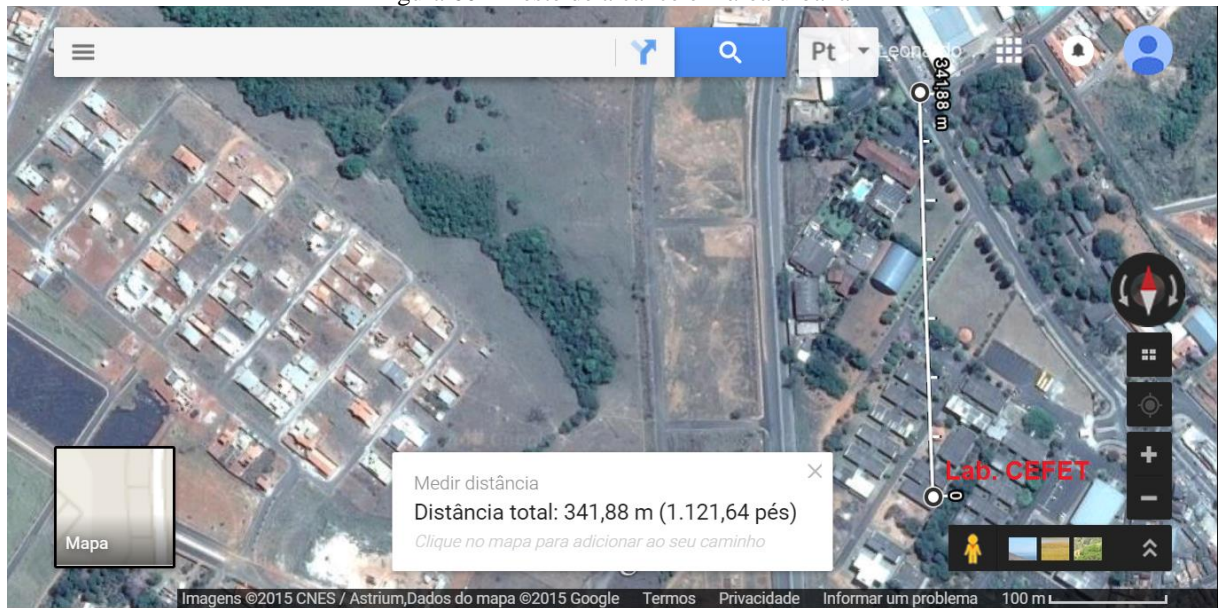
5.5 Teste de alcance

5.5.1 Área urbana

O primeiro teste de alcance dos módulos foi feito em área urbana. Um módulo *XBee 1* ficou instalado no laboratório de eletrônica do CEFET-MG Araxá e sua antena externa ficou a uma altura aproximada de 1,70 metros. O segundo dispositivo *XBee 2* foi instalado em um carro e sua antena externa ficou a uma altura de 1,50 metros fora do carro. O carro andou ao redor do dispositivo *XBee 1* até achar o ponto mais distante entre os módulos em que a comunicação se mantinha estável. A Figura 60 mostra a maior distância alcançada: aproximadamente 342

metros.

Figura 60 – Teste de alcance em área urbana



Fonte: *Google Maps*

5.6 Área de mina

O teste de alcance na área da mina foi também o teste de todo sistema de monitoramento. Realizado na mina F4 (Vale Fertilizantes Complexo Minerquímico de Araxá), em um dos poços lá instalados (PP-06, corresponde à nomenclatura interna de controle dos poços), foi colocado o sistema de aquisição de dados de campo (Figuras 61 e 62).

Figura 61 – Sistema de aquisição de dados instalado em uma mina



Fonte: Autoria própria

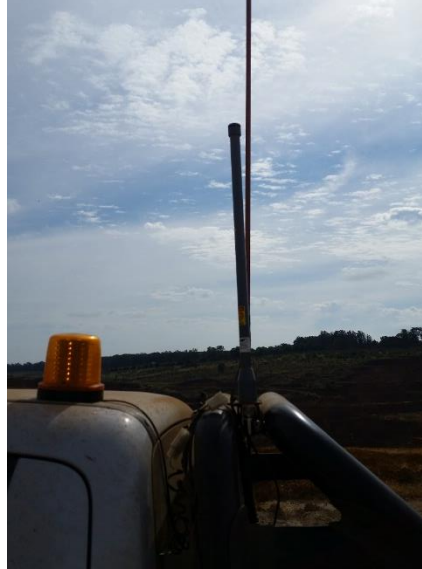
Figura 62 – Instalação da antena no poço



Fonte: Autoria própria

Após a instalação do dispositivo PP-01 no poço, instalou-se a antena do dispositivo PP-02 em um suporte externo de uma caminhonete (Figura 63).

Figura 63 – Instalação da antena do XBee coordenador



Fonte: Autoria própria

Assim, dentro da caminhonete ficaram o PP-02, que foi apenas energizado, e o sistema de interface e aquisição (coordenador) (Figura 64).

O local mais adequado para o monitoramento dos poços tubulares profundos é o mirante da mina, uma vez que é um local seguro, acessível, de pouco movimento de veículos, e com visão privilegiada da mina. Após instalação do *XBee* PP-01, o veículo saiu do local em direção ao mirante. Em movimento, foi possível observar que a comunicação entre os dispositivos se mantinha ou cessava. Na maior parte do trajeto, a comunicação se estabeleceu de forma normal. Apenas em alguns pontos de obstrução total houve perda de comunicação. No mirante (Figuras 65 e 66), o monitoramento foi possível e de forma estável.

Figura 64 – Sistema de aquisição de dados e PP-02 dentro da caminhonete



Fonte: Autoria própria

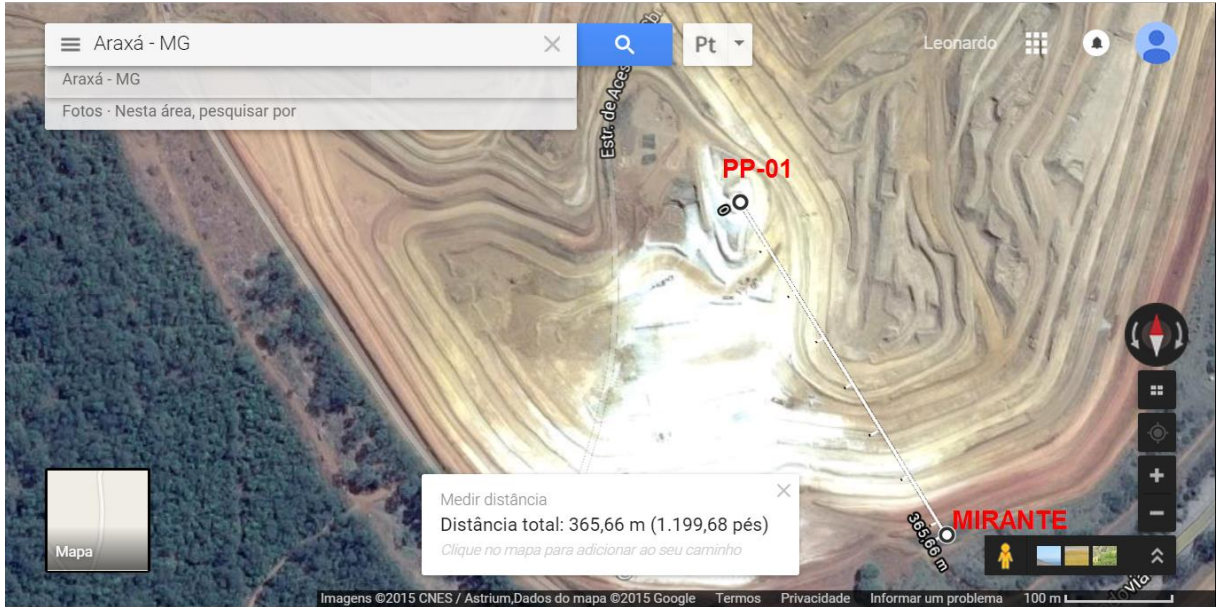
Figura 65 – Mirante da mina F4 (teste do sistema de monitoramento)



Fonte: Autoria própria

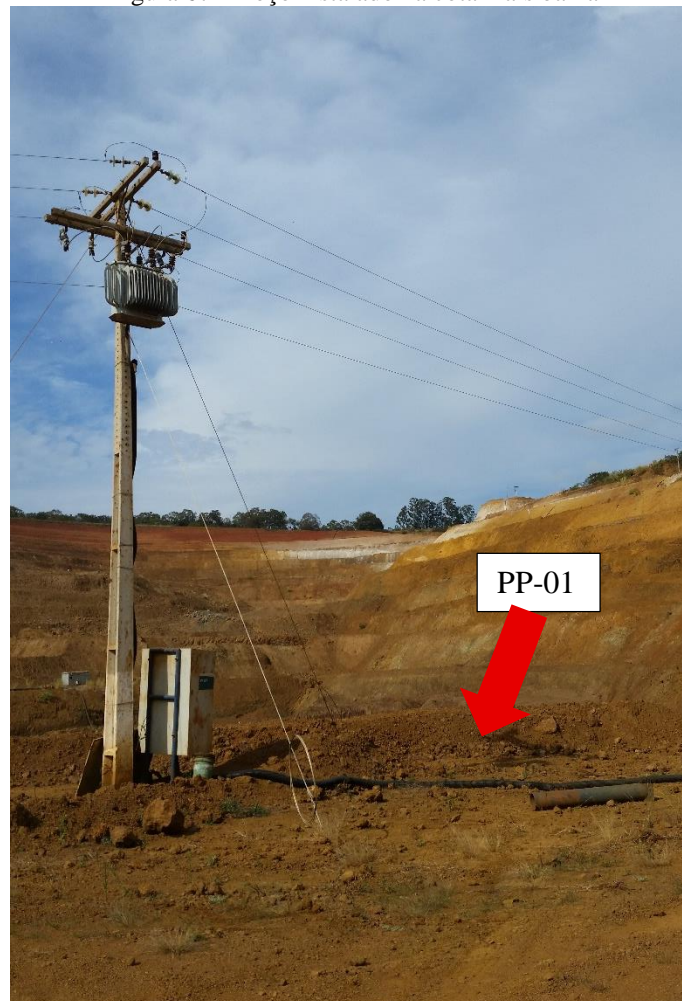
Por último, foi feito mais um teste, dessa vez na cota mais baixa da mina. Assim como no mirante, obteve-se sucesso na monitoração do PP-01 (Figuras 67 e 68).

Figura 66 – Distância entre dispositivos mirante e PP-01



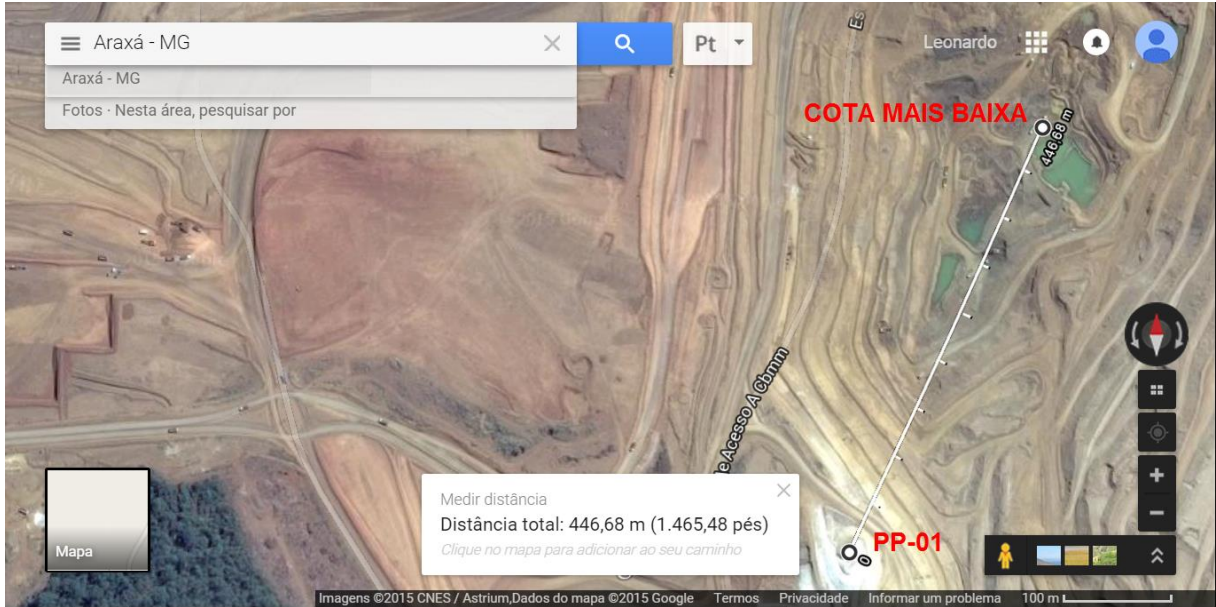
Fonte: *Google Maps*

Figura 67 – Poço instalado na cota mais baixa



Fonte: *Autoria própria*

Figura 68 – Distância entre o PP-01 e a cota mais baixa da mina



Fonte: Google Maps

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em relação ao sistema de transmissão de dados, pode-se observar que os módulos de radiotransmissão escolhidos são um dos mais modernos, com muitas aplicações diferentes e possuem um novo protocolo proprietário com vantagens em relação ao *ZigBee*.

O modo de transmissão transparente possui configuração simples e não necessita de tratamento de dados para saber o que acontece com o outro dispositivo. Esse modo não foi aplicado no trabalho porque não é possível inserir mais dispositivos na rede.

O modo de transmissão API é o coração do projeto, uma vez que essa configuração permite a inserção de vários dispositivos numa mesma rede e adota *frames* de dados, que definem operações e eventos para cada dispositivo.

A comunicação dos *XBee's* com o *software Microsoft Visual Studio* só foi possível com a criação do sistema de interface e aquisição de dados.

O aplicativo de supervisão dos poços possui uma interface gráfica intuitiva com as principais informações do poço e identificação de falha de comunicação dos dispositivos instalados.

O teste de alcance em área urbana mostrou o poder do dispositivo em relação à coexistência, isto é, a capacidade dos dispositivos sem fios de diferentes tecnologias poderem operar perto um dos outros, sem interferência, na mesma faixa de frequência e os obstáculos que estavam à frente dos dois dispositivos.

O teste de alcance na mina foi realizado com sucesso e abrangeu todo o sistema de monitoramento. Ele revelou que é possível utilizar essa tecnologia para monitorar poços tubulares na área. Isso só foi possível com a instalação do sistema de aquisição de sinais no PP-01, que enviou, de forma periódica, os prováveis sinais que os equipamentos de campo podem gerar. Nos dois testes dentro da mina, a maior distância alcançada foi de aproximadamente 447 metros.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusão

A Vale Fertilizantes CMA utiliza poços tubulares profundos para realizar o rebaixamento de nível de água e assim permitir o avanço da lavra e a operabilidade da mina. Para fazer o controle e atender às normas da outorga dos poços, a empresa necessita monitorá-los. Para isso ela possui operadores que coletam dados de vazão e de funcionamento de forma diária e manual. Essa atividade causa alguns transtornos como: demanda de tempo do operador, erros durante a coleta dos dados, dificuldade ou falta de acesso ao poço, não possuir o levantamento dos poços em operação em tempo real e segurança do operador ao adentrar em uma área de risco. Para contornar esse problema foi criado um sistema de telemetria que automatize esse processo de modo que tenha confiabilidade e simultaneidade. Mesmo não sendo possível o acoplamento dos dispositivos de campo no protótipo devido à necessidade de mobilização de outras equipes de trabalho e tempo hábil para a realização desta atividade, foi criado um sistema de simulação de sinais que retratou de forma fiel os sinais advindos dos equipamentos instalados.

O teste de alcance realizado na área urbana comprovou o quanto o dispositivo de rádio transmissão *XBee* e sua tecnologia *Digimesh* é eficiente, pois haviam muitos obstáculos, coexistência de outras tecnologias sem fio e mesmo assim conseguiu um alcance de aproximadamente 342 metros.

O teste de alcance realizado na área de mina mostrou a viabilidade do sistema de telemetria criado para monitoramento de poços tubulares.

7.2 Proposta de trabalhos futuros

O protótipo possui alguns pontos para sua evolução:

- a) estudo sobre a robustez do sistema: verificar o sistema em diversas condições climáticas e por um maior tempo de funcionamento;
- b) implementação de gráfico no sistema supervisorio: visualização da vazão do poço tubular através de um gráfico de tendência;
- c) acionamento e monitoração: fazer uma nova programação do sistema que possibilite o

- acionar e monitorar os poços tubulares;
- d) envio de dados quando solicitado: substituir o envio de dados periódicos por um sistema que gerencie a emissão de dados dos dispositivos *XBee* apenas quando solicitados. Isso acarretará um ganho em diminuição de tráfego de dados e possíveis conflitos de comunicação e
 - e) verificação das vantagens da rede malha (*mesh*) proprietária: criar um sistema com mais dispositivos de modo que a sua instalação possa testar as vantagens descritas pelo fabricante.

REFERÊNCIAS

- ABUD, M. C. *et al.* Operação e manutenção dos poços de rebaixamento em mina a céu aberto, um estudo de caso do complexo mineroquímico de Araxá da Vale Fertilizantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 19., FENÁGUA - FEIRA NACIONAL DA ÁGUA, 8., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2014. Disponível em <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28261/18379>>. Acesso em 18 jul. 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração.** Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias; Instituto Brasileiro de Mineração; Organizadores, Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípez. Brasília: ANA, 2006. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/A%20gest%C3%A3o%20dos%20recursos%20h%C3%ADricos%20e%20a%20minera%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em 19 jul. 2015.
- ALBACORE. **XBee-PRO 900HP.** Disponível em <<http://www.albacore.com.br/index.php/produtos/solucoes-embarcaveis/modulos-zigbee-e-rf/modulos-rf-ponto-para-multiponto/xbee-pro-900hp>>. Acesso em 7 jun. 2015.
- ALLBIZ. **Unidades comerciais de contabilidade de gás natural, eletricidade, calor e água.** Disponível em <<http://www.br.all.biz/unidades-comerciais-de-contabilidade-de-gs-natural-bgr1437>>. Acesso em 26 jul. 2015.
- ANSELMINI, R. Informação chega antes da cana na indústria. **Enalta**, Campinas, SP, 29 ago. 2007. Disponível <<http://www.enalta.com.br/noticias.php?noticia=9>>. Acesso em 24 nov. 2010.
- ARDUINO. 2015. Disponível em <<https://www.arduino.cc>>. Acesso em 22 jul. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. Disponível em <<http://www.abas.org/index.php>>. Acesso em 14 jul. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12313:** sistema de combustão – controle e segurança para utilização de gases combustíveis em processos de baixa e alta temperatura. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2886>>. Acesso em 4 ago. 2015.

BALLOCK, I. R. **Protótipo de um sistema para supervisão de equipamentos industriais**. 2003. 59f. Dissertação (Graduação em Ciências da Computação) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 2003. Disponível em <<http://www.inf.furb.br/~pericas/orientacoes/CLP2003.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2015.

BERTACHINI, A. C.; ALMEIDA, D. C. O rebaixamento do nível d'água em mineração e obras civis. In: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 13., 2003, Petrópolis, RJ. **Anais...** Petrópolis: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2003. Disponível em <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23932/15992>>. Acesso em 18 jul. 2015.

BONIFÁCIO, T. G. **Implementação de um protocolo *mesh multi-hop* baseado e algoritmo de roteamento geográfico para redes de sensores sem-fio**. 2010. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde-04032011-150720/pt-br.php>>. Acesso em 20 jul. 2015.

BRASIL. Lei nº. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em 14 jul. 2015.

CORTELETTI, D. **Introdução à programação de microcontroladores Microchip PIC**. Serviço Nacional de Aprendizagem-RS/Centro Tecnológico de Mecatrônica, 2006. Disponível em <<http://sbirt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTE=>>>. Acesso em 20 jul. 2015.

DIAS, Osmar. **Telemetria e sensoriamento remoto**. Curitiba: Copel, 1992.

DIGI INTERNATIONAL. ***XBee Family Features Comparison***. [s.d.]. Disponível em <http://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf>. Acesso em 26 jul. 2015.

_____. ***XBee-PRO 900HP: 900HP and XSC RF Modules S3 and S3B***. 2015a. Disponível em <http://ftp1.digi.com/support/documentation/90002173_R.pdf>. Acesso em 26 jul. 2015.

_____. ***XBee-PRO 900HP: módulo RF embarcável - 900 MHz***. 2012-2013. Disponível em <http://www.digi.com/pdf/ds_xbeepro900hp_pt.pdf>. Acesso em 26 jul. 2015.

_____. **XCTU**: next generation configuration platform for *XBee*/RF Solutions. 2015b. Disponível em <<http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>>. Acesso em 23 jul. 2015.

ELECTRO COMPONENTES. **Módulos *XBee* de *Digi International***. Disponível em <<http://www.electrocomponentes.com/index.html>>. Acesso em 26 jul. 2015.

EMSTECH. **Cabo *pigtail* UFL N-female (fêmea)**. Disponível em <<http://www.emstech.com.br/produto/cabo-pigtail-ufl-n-female--femea->>. Acesso em 7 jun. 2015.

FAGUNDES, F. D. **Simulação de controle de processo industrial utilizando protocolo de comunicação *ZigBee***. 2013. 63f. Dissertação (Graduação em Engenharia de Automação Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2013. Disponível em <<http://seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/613>>. Acesso em 20 jul. 2015.

FILIFELOP. ***XBee Shield para Arduino***. Disponível em <<http://www.filipeflop.com/pd-6b60d-xbee-shield-para-arduino.html>>. Acesso em 23 jul. 2015.

FLIPKART. **Arduino Uno R3**: original made in Italy with box. Disponível em <<http://www.flipkart.com/arduino-uno-r3-original-made-italy-box/p/itm5cfuqjbjtyc>>. Acesso em 28 jul. 2015.

GOOGLE MAPS. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/place/Cefet+de+Arax%C3%A1/@-19.5773753,-46.9542595,500m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0000000000000000:0x397e56b39c819d8a>> Acesso em 26 jul. 2015; <<https://www.google.com.br/maps/place/Arax%C3%A1+-+MG/@-19.6691244,-46.9263324,573m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x94b03701af9afc33:0xf9d101560efb5abd>>. Acesso em 3 ago. 2015.

HART COMMUNICATION FOUNDATION. Disponível em <http://www.hartcomm.org/protocol/wihart/wireless_overview.html>. Acesso em 21 jul. 2015.

HAYKIN, S. **Communication Systems**. 4th ed. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

HIDROVOLT. **Emissor de pulso – Sensor Cyble**. Disponível em <<http://www.hidrovolt.com.br/hidrometros-medidores/3/hidrometros/14/acessorios/30/emissor-de-pulso-sensor-cyble.html>>. Acesso em 26 jul. 2015.

INTRODUÇÃO ao *Wi-Fi* (802.11 ou WiFi). **Kioskea.net**. Disponível em <<http://br.ccm.net/contents/790-introducao-ao-wi-fi-802-11-ou-wifi>>. Acesso em 21 jul. 2015.

IRITANI, M. A.; EZAKI, Sibeles. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. 2.ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, 2009. Disponível em <http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/cart_AG_SB.pdf>. Acesso em 14 jul. 2015.

JESUS, C. E. **Amperes automation**. Cubatão, SP, 2002. Disponível em <<http://www.amperesautomation.hpg.ig.com.br/index0.html>>. Acesso em 5 jun. 2003.

KOPELVSKI, M. M. **Teoria de CLP**. Apostila Técnica. São Paulo: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2010.

KROHNE. **IFC 100**: conversor de sinal para medidores electromagnéticos. 2008. Disponível em <http://cdn.krohne.com/dlc/MA_IFC100_pt_080625.pdf>. Acesso em 25 jul. 2015.

LEITE, B; MARQUES, M. **Sistemas de rádio**. Aveiro, 2005. Disponível em <http://radiofonia.com.sapo.pt/Sistemas_radio.html>. Acesso em 15 jul. 2015.

LUGLI, A. B.; SOBRINHO, D. G. Tecnologias wireless para automação industrial: WIRELESS_HART, BLUETOOTH, WISA, WI-FI, ZIGBEE E SP-100. In: CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPOSIÇÃO DE AUTOMAÇÃO, SISTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 16., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Sul-Americana de Automação/ Brazil Automation, 2012. Disponível em <<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Bacharel/66140857.html>>. Acesso em 20 jul. 2015

McROBERTS, M. **Arduino básico**. Tradução Rafael Zanolli. São Paulo: Novatec, 2011.

MESSIAS, A. R. **Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**. 2009. Disponível em <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em 20 jul. 2015.

MINAS GERAIS (Estado). **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/outorga/manual/manual-de-outorga.pdf>>. Acesso em 14 jul. 2015.

NET COMPUTADORES. **HGV2409U Antena omnidirecional *Hyperlink* 2.4Ghz.** Disponível em <<https://netcomputadores.com.br/p/hgv2409u-antena-omnidirecional-hyperlink-2-4ghz/7711>>. Acesso em 7 jun. 2015.

NETO, P. A. **História das comunicações e telecomunicações.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, [s.d.].

PAIOTTI, R. **As dificuldades de trabalhar com microcontroladores no Brasil.** 2009. Disponível para assinantes em <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/1218>>. Acesso em 30 mar. 2011.

PINHEIRO, J. M. S. O modelo OSI. **Projeto de redes**, 22 nov. 2004. Disponível <http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_modelo_osi.php>. Acesso em 19 nov. 2015.

RAMOS, J. S. B. **Instrumentação eletrônica sem-fio: transmitindo dados com módulos XBee Zig Bee e PIC16F877A.** São Paulo, Érica, 2012.

RIBEIRO, M. J. **Sistema supervisor para gerenciamento de processos industriais automatizados em pequenas e médias empresas.** 2006. 99f. Dissertação (Graduação em Sistemas de Informação) - Centro Universitário do Planalto de Araxá, Araxá, MG, 2006.

ROA, Y. H. H.; FRUETT, F. Redes de sensores sem-fio: uma abordagem prática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010, Bonito, MS. **Anais...** Bonito, MS: Universidade Estadual Paulista, 2010. Disponível em <<http://www.opec-eventos.com.br/cba2010/index.php>>. Acesso em 20 jul. 2015.

SALEIRO, M; EY, Emanuel. **ZigBee: uma abordagem prática.** Faro: Universidade do Algarve, [s.d.]. Disponível em <http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf>. Acesso em 20 jul. 2015.

SANTOS, F. B. **TSADA - Sistema de telemetria redundante e tolerante a falhas utilizando tecnologia GSM/GPRS e ZigBee.** 2010. 115f. Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010. Disponível em <http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3480>. Acesso em 20 jul. 2015.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Noções básicas sobre poços tubulares: cartilha informativa.** Recife: CPRM, 1998. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/dehid/manubpt.pdf>>. Acesso em 18 jul. 2015.

SILVA, A. A. **Simulação e análise da eficácia das técnicas de bloqueio em sistemas de comunicações: ênfase no sistema GSM.** 2009. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <http://www.pgee.ime.eb.br/pdf/alex_silva.pdf>. Acesso em 20 jul. 2015.

SILVA, A. P. G.; SALVADOR M. **O que são sistemas supervisórios?** 2005. Disponível em <http://www.wectrus.com.br/artigos/sist_superv.pdf>. Acesso em 20 jul. 2015.

SILVA, M. V. A. **Aspectos hidrogeológicos conceituais da região do Condomínio Riviera do Lago - Araxá MG.** Araxá, MG, 2011. Disponível em <<http://www.rivieradolagoaraxa.com.br/arquivospaginas/HIDROGEOLOGIA...pdf>>. Acesso em 14 jul. 2015.

SIQUEIRA, C. S.; BOAS, P. P. B. V. **Projeto de automação residencial utilizando um microcontrolador da família 8051 e supervisionado por uma plataforma desenvolvida no Eclipse E3.** 2011. 65f. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em <<http://www.emc.ufg.br/~jwilson/aulasmicro/Projeto%20Autom%20Resid%20com%20Eclipse%20E3.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2015.

SISTEMA FIRJAN. **Orientações para a obtenção de outorga do uso da água: guia de procedimentos passo a passo.** Rio de Janeiro: GMA, 2006. Disponível em <<http://www.firjan.org.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=40288094212F79010121300D636645E6>>. Acesso em 14 jul. 2015.

SOUZA, A. J. M. **Controle e automação de iluminação residencial por telefone.** 2011. 90f. Dissertação (Graduação em Engenharia da Computação) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em <<http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3605/3/Monografia%20Andr%C3%A9%20Jos%C3%A9%20Martins.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2015.

SPARKFUN. **SparkFun XBee Explorer Dongle.** Disponível em <<https://www.sparkfun.com/products/11697>>. Acesso em 22 jul. 2015.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. **Redes de computadores.** Tradução Daniel Vieira; revisão técnica Isaías Lima. São Paulo: Prentice Hall, 2011.

THE IEEE STANDARDS ASSOCIATION. **145-2013: IEEE standard for definitions of terms for antennas.** 2013. Disponível em <<http://standards.ieee.org/findstds/standard/145-2013.html>>. Acesso em 28 jul. 2015.

THE OFFICIAL BLUETOOTH. Disponível em <<https://www.bluetooth.org/Building/overview.htm>>. Acesso em 21 jul. 2012.

THE ZIGBEE ALLIANCE. Disponível em <<http://www.zigbee.org>>. Acesso em 20 jul. 2015.

TRINDADE, D. F.; TRINDADE, L. S. P. **As telecomunicações no Brasil: do Segundo Império até o Regime Militar**. São Paulo: Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, 2004. Disponível em <<http://www.fcs.com.br/download/artigos/social14.pdf>>. Acesso em 20 jul.2015.

VIEIRA, M. A. **Sistema de telemetria para robôs móveis**. 2011. 91f. Dissertação (Graduação em Engenharia da Computação) - Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus de Juazeiro, Juazeiro, BA, 2011. Disponível em <http://www.univasf.edu.br/~ccomp/monografias/monografia_3.pdf>. Acesso em 15 jul. 2015.

VIKA CONTROLS. **Módulos XBee**. Disponível em <http://www.vikacontrols.com.br/web/datafiles/produtos/Modulos-Xbee_CatalogoGeral.pdf>. Acesso em 22 jul. 2015

VISSOTTO JÚNIOR, D. Transmissão de dados via telemetria: uma opção de comunicação remota. **Viva o Linux**, 26 nov. 2004. Disponível em <<http://www.vivaolinux.com.br/artigos/verArtigo.php?codigo=1710>> Acesso em 15 jul. 2015.

VISUAL STUDIO. **Microsoft Developer Tools**. Disponível em <<https://www.visualstudio.com>>. Acesso em 24 jul. 2015.

ZEINDIN, D. C. A. *et al.* **A Tecnologia do futuro Wi-Fi (Wireless Fidelity)**. Blumenau, SC: Universidade Regional de Blumenau, 1999. Disponível em <http://campeche.inf.furb.br/siic/siego/docs/Artigo_Wireless_Uniplac_2003.pdf>. Acesso em 15 jul. 2015.