



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
ESCOLA DE MINAS - EM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO (DECAT)



ALBERT DIAS MOREIRA

SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO BASEADO EM REDE DE SENSORES
SEM FIO

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO

Ouro Preto, 2016

ALBERT DIAS MOREIRA


**SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO BASEADO EM REDE DE SENSORES
SEM FIO**

**Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Federal de Ouro Preto
como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro de
Controle e Automação**

Orientador: Sávio Lopes

**Ouro Preto
Escola de Minas - UFOP
Março/2016**

Monografia defendida e aprovada, em 08 de março de 2016, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Sávio Augusto Lopes da Silva - Orientador



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



M. Sc. Robson Nunes Dal Col – Convidado

M838s Moreira, Albert Dias.

Sistema de Controle e Automação Baseado em Rede de Sensores sem Fio

[manuscrito] / Albert Dias Moreira. – 2016.

33f. : il., tab.

Orientador: Prof. Dr. Sávio Lopes.

RESUMO

O desenvolvimento de dispositivos baseados em sistemas embutidos faz com que tecnologias antes vistas apenas em grandes indústrias e empresas se tornem cada vez mais próximas do consumidor comum. A utilização de sistemas embutidos para a criação de uma grande rede em que estes dispositivos possam se comunicar abre um grande leque de possibilidades. Considerando-se a junção dessa tecnologia e conhecimentos relacionados a controle e automação, é possível visualizar um mundo em que tudo pode ser monitorado e controlado. Por fim, a comunicação sem fio traz o recurso necessário para tornar essa rede de monitoramento possível. O passo a passo de um sistema que reúne esses três pontos cruciais, controle e automação, sistemas embutidos e rede sem fio, pode ser acompanhado nesse trabalho, assim como as dificuldades encontradas nesse desenvolvimento. Através da junção desses conhecimentos foi possível construir uma rede de dispositivos que monitoram e atuam em processos em geral, com o auxílio de um computador que permite a gravação de informações em bancos de dados e o acesso a essa informação através da internet.

Palavras-chave: automação, controle, instrumentação, sem fio, rede, monitoramento

ABSTRACT

The development of embedded-system based devices brings to common consumer technologies that were before seen just in big industries. The use of embedded systems to create a network where all devices communicate to themselves, gives a wide frame of possibilities. Considering the combination of this technology and the knowledge about control and automation it's possible to visualize a world where everything is monitored and controlled. To finish the system, add wireless communication and its functionality reveals itself almost real. The step by step of a system that uses these three critical tools, control and automation, embedded systems and wireless network can be tracked here in this document, as the difficulties found to make it happen. Through the joint of all this knowledge it was possible to build a device network that monitor and actuate on general processes, supported by a computer that allows the recording of information in data bases and the access to this information through the internet.

Key-words: control, automation, instrumentation, wireless, network, monitoring

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Placa Protótipo M2.....	15
Figura 3.2 – Sistema de 64 canais.....	16
Figura 3.3 – Última versão de protótipo.....	17
Figura 3.4 – Gráfico de linhas.....	23
Figura 3.5 – Indicador de nível.....	24
Figura 3.6 – Gráfico para análise histórica.....	24
Figura 3.7 – Topologias de rede.....	29

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

LPDNT – Laboratório de Protótipos e Desenvolvimento de Novas Tecnologias

AD – Analógico-digital

LCD – Liquid Crystal Display

LED – Light Emitting Diode

USB – Universal Serial Bus

HID – Human Interface Device

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivo	11
1.2. Motivação	11
1.3. Estrutura do trabalho	11
2.1. Sistemas embutidos	12
2.1. Estrutura de redes	12
2.3. Bancos de dados	13
2.4. Instrumentação.....	14
2.6. Internet das Coisas.....	15
3. DESENVOLVIMENTO.....	16
3.1. Metodologia.....	16
3.1.1. Desenvolvimento do Sistema Embutido.....	16
3.1.2. Criação de interface dispositivo/PC	20
3.1.3. Criação de interface sem fio entre dispositivos	21
3.1.4. Estruturação do banco de dados	23
3.1.5. Criação de interface com usuários.....	24
3.1.6. Estudo de caso: Gestão da água.....	27
3.2. Resultados.....	28
3.2.1. Resultados gerais.	28
3.2.2. Resultados do Estudo de Caso.....	31

4.CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia tem tornado cada vez mais eficientes e baratos os sistemas embutidos. Esse fenômeno faz com que estes se tornem cada vez mais acessíveis e possam ser usados em larga escala. Em conjunto com o desenvolvimento da Internet e das tecnologias sem fio, a criação de redes em que estes dispositivos estejam conectados permite a centralização de grandes pacotes de informação, assim como o processamento e atuação baseados na informação coletada de maneira eficiente e rápida, sem a necessidade de conexões físicas. Esse tipo de Rede de Sensores sem Fio tem se tornado cada vez mais popular, conhecido como Internet das Coisas (em inglês *IoT – Internet of Things*).

“A conexão de coisas físicas à Internet torna possível o acesso a dados de sensores remotos e o controle do mundo físico à distância. A integração dos dados capturados com os dados provenientes de outras fontes, por exemplo com os dados contidos na Web, dá força a um novo sinérgico serviço que vai além de serviços que podem ser fornecidos por sistemas embutidos isolados, a Internet das Coisas é baseada nessa visão. Um objeto inteligente, que é o bloco de construção da Internet das Coisas, é outro nome dado a sistemas embutidos que estão conectados à Internet.” (H. Kopets, 2001)

O presente trabalho de conclusão de curso consiste na documentação, análise e continuidade de um trabalho já iniciado que aborda exatamente esse assunto e trata do aperfeiçoamento e adequação de um objeto inteligente extremamente personalizável, onde os sensores podem ser adequados à aplicação. O escopo ainda inclui o desenvolvimento da interface desses objetos com um computador, onde são armazenadas as informações e disponibilização dessas informações na Web, de uma maneira simples e clara.

Para que a construção desses objetos e da estrutura da rede seja possível é necessário estar a par das mais novas tecnologias e ferramentas disponíveis e envolver uma vasta quantidade de áreas diferentes da tecnologia, partindo de sistemas embutidos, instrumentação, circuitos elétricos/eletrônicos, infraestrutura de redes, protocolos de comunicação, interfaceamento de sistemas e chegando a desenvolvimento de softwares para web. Um trabalho que envolve uma quantidade tão extensa de áreas do conhecimento é melhor desenvolvido através do trabalho em equipe e do envolvimento de pessoas especializadas em diferentes áreas, como já vem sendo feito no Laboratório de Protótipos e Desenvolvimento de Novas Tecnologias (LPDNT).

As aplicações para um sistema como esse são diversas e serão discutidas a seguir com maior detalhamento, além de ser apresentado o estudo de caso de uma delas de extremamente importância e que é hoje o foco do projeto: gestão de águas.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é fazer a análise de um sistema capaz de conectar sensores através de dispositivos integrantes de uma grande rede sem fio e, através destes dispositivos, unir todos os dados em uma central a fim de obter informações relevantes a respeito de variáveis estudadas; através do processamento dessas informações ser capaz de atuar a distância sobre as variáveis com o objetivo de otimizar processos, prever eventos e tornar tudo isso acessível e de fácil entendimento.

1.2. Motivação

A tecnologia é uma grande fonte de inspiração. A capacidade de desenvolver dispositivos e ajudar as pessoas a controlarem aquilo que as rodeia desperta a motivação necessária para trabalhar duro e fazer o que for preciso para tornar real uma ideia extremamente interessante e, apesar de difícil de ser executada, possível. O uso de novas tecnologia permite levar recursos antes industriais para as casas e estabelecimentos de menor porte aumentando de maneira revolucionária a acessibilidade a recursos extremamente úteis no di-a-dia.

1.3. Estrutura do trabalho

O trabalho é desenvolvido de maneira a dar o embasamento necessário ao leitor, passo a passo, de maneira que ao seu final exista um entendimento claro de suas ferramentas, seu funcionamento e suas possibilidades. Este capítulo, o primeiro, apenas introduz o assunto.

A seguir, no Capítulo 2, desenvolvimento, são apresentados, divididos por área do projeto e contados cronologicamente, os passos necessários para a formação do sistema desenvolvido e, ao seu fim, os resultados obtidos nos testes.

Por fim, o Capítulo 3, Conclusão, faz uma análise de todo o trabalho realizado e mostra até que ponto foi possível alcançar o objetivo deste trabalho.

2. REVISÃO LITERÁRIA

Neste capítulo serão apresentadas as informações prévias necessárias para o desenvolvimento e para o entendimento das funcionalidades existentes no sistema proposto no presente trabalho.

2.1. Sistemas embutidos

“Atualmente, a eletrônica tem evoluído rapidamente em muitas áreas, e a eletrônica digital ficou cada vez mais acessível a todos os técnicos e engenheiros, e até mesmo a curiosos. Os microcontroladores surgiram exatamente para aumentar ainda mais essa evolução e facilitar o desenvolvimento de produtos e tecnologias. Por isso, a cada dia, mais e mais pessoas precisam atualizar-se e aprender outras formas de projetar novos sistemas.” (SOUZA, 2011)

Para Souza (2011) o microcontrolador é um componente eletrônico programável que pode ser usado para controlar periféricos, como LEDs ou botões. Se baseia em controles lógicos, ou seja, suas ações lógicas são executadas dependendo dos periféricos de entrada e saída.

O sistema que contém o microcontrolador e todos os periféricos que interagem com ele é normalmente chamado de sistema embutido ou embarcado.

“Os sistemas embarcados [ou embutidos] são dispositivos "invisíveis", que se fundem no nosso cotidiano, de forma que muitas vezes sequer percebemos que eles estão lá. Eles são formados, fundamentalmente, pelos mesmos componentes de um PC: processador, memória, algum dispositivo de armazenamento, interfaces e assim por diante. A principal diferença é que, ao contrário de um PC, eles se limitam a executar bem uma única tarefa, de maneira contínua e, na maioria das vezes, sem travamentos e panes.” (MORIMOTO, 2007)

2.1. Estrutura de redes

Segundo Gabriel Torres (2011), as redes de computadores surgiram devido à necessidade da troca de informações, onde é possível acessar dados que estão distantes fisicamente devido à conexão existente entre computadores.

Para que a comunicação entre computadores seja efetiva e os dados transmitidos sejam confiáveis é necessário tomar uma série de precauções e criar uma estrutura que seja segura e eficiente.

“Na comunicação entre computadores é essencial que um conjunto de regras seja estabelecido, afinal as entidades, sejam elas desktops, servidores, aparelhos de telefonia ou qualquer outro dispositivo conectado em rede, nem sempre se comunicam através da mesma linguagem. Assim sendo, um protocolo de rede é um conjunto de regras e padrões utilizado para possibilitar a comunicação entre dispositivos diferentes. ” (CASTELUCCI, 2011)

O protocolo é fundamental para que a rede funcione bem. De acordo com Gabriel Torres (2011), o protocolo é a linguagem utilizada para que os dispositivos de uma rede se comuniquem entre si. Os dados enviados são divididos em mensagens de tamanho fixo chamadas de pacotes.

A rede pode ser interligada por cabos ou também por rádio. A escolha da ligação deve ser feita com bastante cuidado, analisando as vantagens de cada um. Em muitos casos a ligação por cabos torna o projeto inviável, porém muitas vezes a necessidade de uma maior segurança na transmissão exige a utilização deles. A transmissão de dados via rádio evoluiu muito nos últimos anos e vem sendo cada vez mais utilizadas, devido aos gastos e às dificuldades na instalação de cabos.

2.3. Bancos de dados

“Banco de dados é uma coleção de dados relacionados. Com dados, queremos dizer fatos conhecidos que podem ser registrados e possuem significado implícito. [...] Um banco de dados tem alguma fonte da qual o dado é derivado, algum grau de interação com eventos no mundo real e um público que está ativamente interessado em seu conteúdo. ” (ELMARSI e B. NAVATHE, 2010)

“Sistemas de bancos de dados são projetados para gerir grandes volumes de informações. O gerenciamento de informações implica a definição das estruturas de armazenamento das informações e definição dos mecanismos para a manipulação dessas informações. Ainda, um sistema de banco de dados deve garantir a segurança das informações armazenadas contra eventuais problemas com o sistema, além de impedir tentativas de acesso não autorizadas. Se os dados são compartilhados por diversos usuários, o sistema deve evitar a ocorrência de resultados anômalos. ” (SILBERSCHATZ, F. KORTH e SUDARSHAN, 2005)

“Hoje em dia, os bancos de dados são essenciais para todos os ramos de negócios. Eles são usados para manter registros internos, apresentar dados a consumidores e cliente na *World*

Wide Web e fornecer suporte a muitos outros processos comerciais. Da mesma forma, os bancos de dados são encontrados no núcleo de muitas investigações científicas. ” (GARCIA-MOLINA, D. ULLMAN e WIDOM, 2001)

2.4. Instrumentação

Os principais elementos responsáveis pela automação são os sensores e os atuadores: através deles é possível obter informações sobre o ambiente a volta e interferir nesse ambiente, de modo a controlar a variável desejada.

Thomazini e Braga de Albuquerque (2007) definem sensores como “dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que poder ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.” Por outro lado, definem atuadores como “dispositivos que modificam uma variável controlada. Recebem um sinal proveniente do controlador e agem sobre o sistema controlado. ”

A instrumentação se baseia principalmente nesses dois tipos de instrumentos, encontrando-se ainda algumas variações dos mesmos. Com auxílio dela conseguimos capturar os sinais analógicos advindos do ambiente e transformá-los em digitais, que podem ser processados por um computador.

“A palavra ‘analógico’, que tem um significado antigo, só começou a ser utilizada recentemente depois do surgimento do termo ‘digital’, justamente para diferenciar deste último. Assim, vale a pena mostrar a diferença básica entre os que chamamos de analógico e digital. Na realidade, nenhum dos dois termos representa semanticamente o significado daquilo que pretende: analógico vem de analogia, enquanto digital vem de dedo. Analógico, em eletrônica, representa um equipamento ou uma tecnologia que trata de sinais elétricos de tensão que podem apresentar qualquer valor que variam de incrementos infinitesimalmente pequenos. Digital representa em eletrônica um equipamento ou uma tecnologia que trata de sinais elétricos que só apresentam valores múltiplos de 2(dois), ou números binários. Os incrementos são sempre de bit a bit. Assim, quanto maior o número de incrementos desejados para representar um número, maior a quantidade de bits necessários. Ou, em outras palavras, quanto maior a resolução necessária, maior o número de bits. ” (WERNECK, 1996)

2.6. Internet das Coisas

“A Internet das Coisas ou *Internet of Things (IoT)*, em inglês, é um termo utilizado para designar a conectividade entre vários tipos de objetos do dia a dia sensíveis à internet, desde de eletrodomésticos até outros equipamentos espalhados pela cidade. Conceitualmente, é a possibilidade de conectar o mundo físico com o mundo digital por meio da web [...].” (LIRA, 2013)

“A Internet das Coisas relaciona assuntos à comunicação e da troca das informações dos sistemas no ambiente pervasivo por meio da tecnologia móvel, representando a dinâmica que envolve a colaboração a integração no ambiente distribuído do meio digital utilizada pelas soluções sistêmicas nos diversos setores da economia e conseqüentemente pela sociedade de forma cada vez mais intensa. O que caracteriza o aspecto híbrido, multidisciplinar e interdisciplinar no processo de inovação tecnológica. De modo que a tecnologia sem fio afirma-se como nova tendência de uso dessas soluções devido à popularização dos dispositivos eletrônicos (celular, Tablets, Smartphone, eletroeletrônicos domésticos inteligentes, e da interoperabilidade proporcionada pela Internet) e principalmente pelo papel da sociedade numa caracterização como parte integrante no processo dinâmico de colaboração das informações.” (MORAES PAES, 2014)

“À medida que a população do planeta continua a crescer, o mais importante é que as pessoas se tornem administradores da terra e de seus recursos. Além disso, as pessoas desejam viver vidas saudáveis, gratificantes e confortáveis para si próprios, suas famílias e aqueles com quem se preocupam. Ao combinar a capacidade da próxima evolução da Internet (IoT) para sentir, coletar, transmitir, analisar e distribuir dados em grande escala, com a maneira das pessoas processarem informações, a humanidade obterá o conhecimento e a sabedoria necessários não apenas para sobreviver, mas para prosperar nos próximos meses, anos, décadas e séculos.” (EVANS, 2011)

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentados os principais materiais utilizados para o desenvolvimento do projeto, além da especificação de todo o processo de desenvolvimento e a exposição dos resultados obtidos no final.

3.1. Metodologia

A metodologia utilizada para a construção do sistema, assim como os componentes e programas fundamentais para a execução desse serão descritos a seguir, de forma a dar uma visão geral de todo o trabalho envolvido no processo e do funcionamento do sistema resultante.

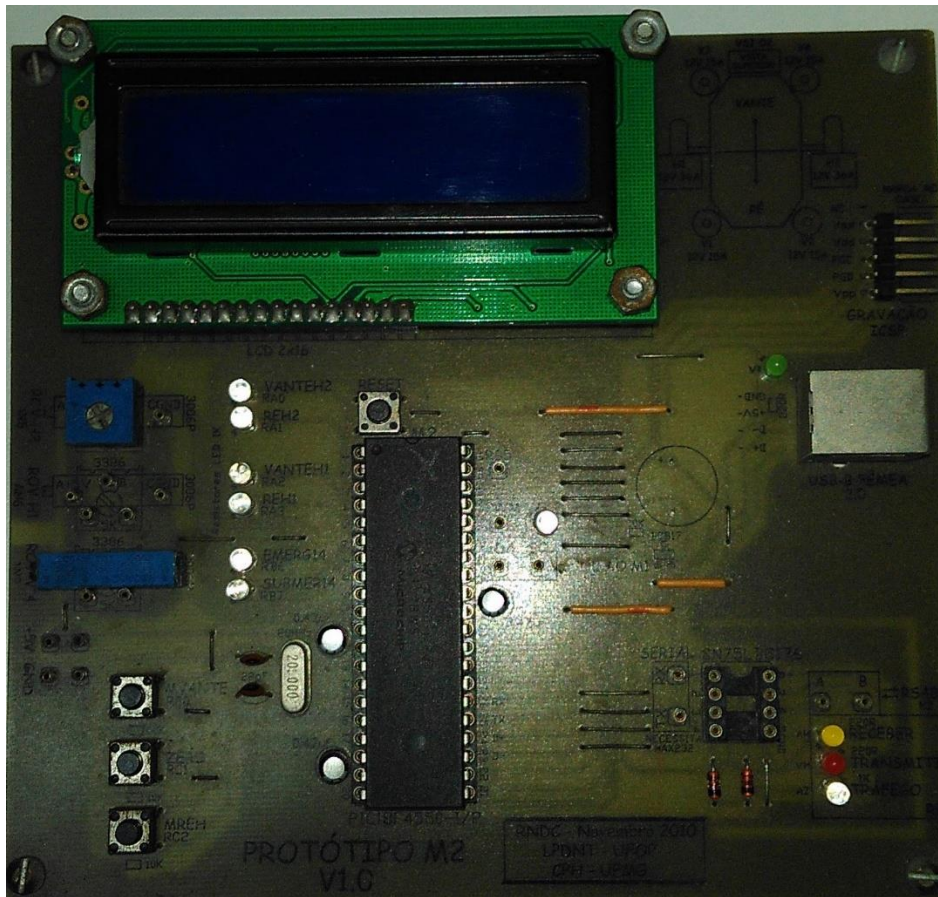
3.1.1. Desenvolvimento do Sistema Embutido

O sistema embutido é a parte de maior importância no sistema como um todo, pois é através dele que as informações vindas dos sensores são processadas e preparadas para serem enviadas ao computador. Além disso, é também o sistema embutido que tem acesso direto aos atuadores e o poder de controlá-los. O sistema embutido é constituído de duas partes principais, a física (ou *hardware*), que consiste na estrutura do sistema eletrônico e a virtual (*firmware*), que consiste na implementação via programação do algoritmo executado pelo microcontrolador.

O microcontrolador escolhido, que é o principal componente do sistema embutido onde as informações são processadas, foi o PIC18F4550 (Microchip). Esse microcontrolador contém recursos básicos para processamento de dados, como um três conversores analógico-digitais, diversas saídas e entradas digitais e capacidades de processamento e memória suficientes para esse tipo de atividade.

Inicialmente, para fins de obtenção de maiores informações a respeito de requerimentos do sistema e possibilidade de desenvolvimento, usou-se uma placa protótipo projetada e construída no LPDNT, conhecida como Placa Protótipo M2, que pode ser vista na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Placa Protótipo M2

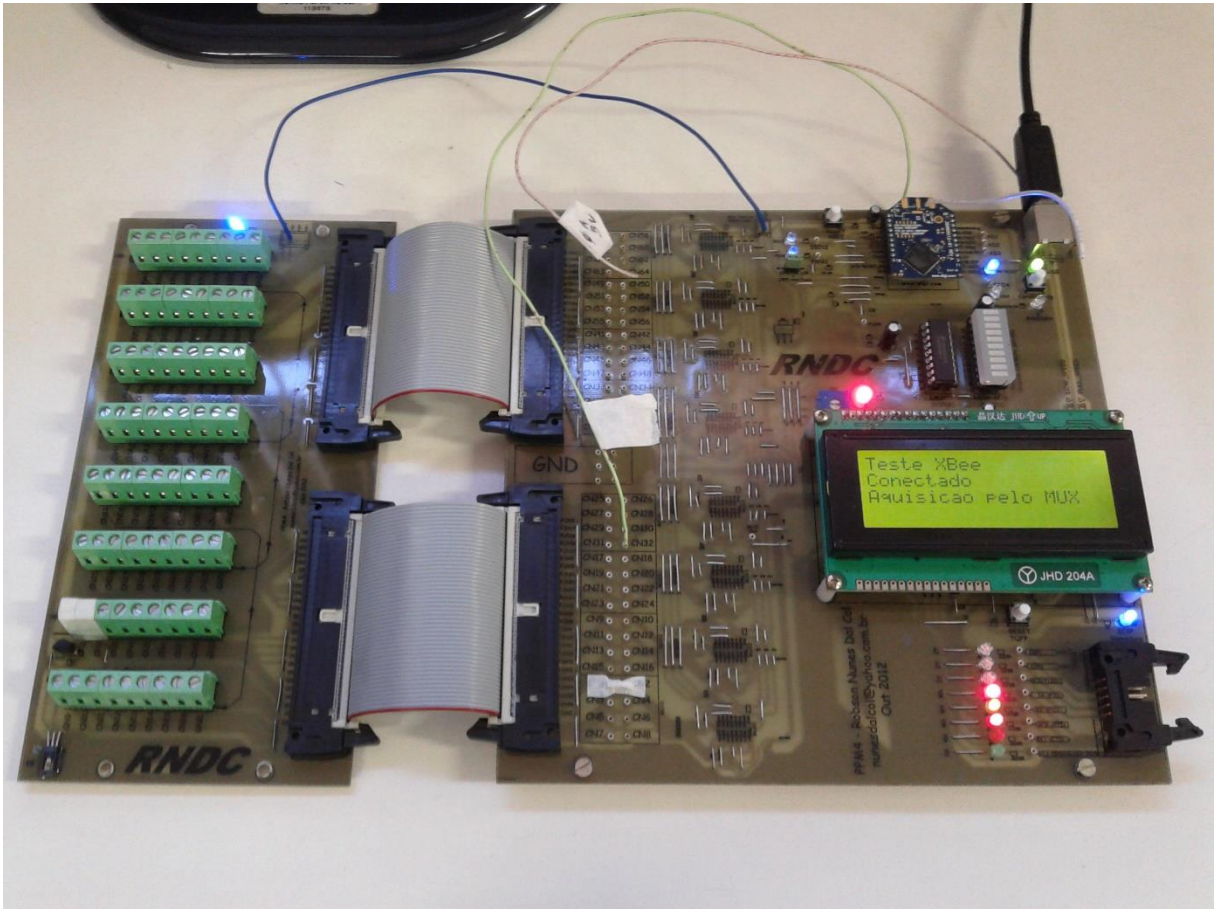


Nessa primeira fase de desenvolvimento, o objetivo era obter valores através dos conversores analógico-digitais e ser capaz de enviar respostas através das saídas digitais. Essa etapa foi finalizada fazendo-se a leitura dos três canais AD, mostrando seus valores no LCD e sendo capaz de ligar e desligar as saídas digitais.

A fase a seguir tinha o objetivo de expandir a quantidade de sinais AD que o sistema seria capaz de captar. Essa quantidade de sinais é extremamente importante para o sistema, já que quanto maior o número de sinais medidos, maior o número de sensores instalados em um mesmo dispositivo.

A solução encontrada para o aumento de sinais captados foi o uso de multiplexadores: através da instalação de oito multiplexadores, cada um com oito entradas, foi alcançada a possibilidade de obter sessenta e quatro sinais diferentes, sendo todos processados na mesma entrada AD. Essa nova solução gerou um novo circuito eletrônico, que pode ser visto na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Sistema de 64 canais



A partir desse momento o sistema passou a funcionar da seguinte maneira: ativa-se o primeiro multiplexador e varia-se seus bits de controle, respeitando-se o tempo de acomodação do conversor analógico digital, até que todos os valores tenham sido registrados. Em seguida, o primeiro multiplexador é desativado e o processo é repetido para todos os outros, indefinidamente.

Nessa fase também foi implementada a primeira versão da comunicação com PC via cabo USB, mas essa implementação será detalhada no próximo tópico. Nesse momento o sistema já tinha a capacidade de medir sessenta e quatro sensores diferentes com uma resposta bastante rápida e enviar esses dados ao computador, para que pudessem ser analisados. A partir daí vinha a parte mais desafiadora: a criação de uma rede de dispositivos semelhantes a esse, mas que pudessem se comunicar entre si sem a necessidade da utilização de fios.

O componente escolhido para a realização da comunicação sem fio foi o XBee HP900, que utiliza o protocolo proprietário *digimesh* para a realização dessa comunicação. Os detalhes dessa comunicação serão apresentados nos tópicos a seguir.

Para fins de entendimento do sistema embutido precisamos apenas ter em mente que nessa nova rede seriam utilizados dois tipos diferentes de dispositivos: o centralizador, que está conectado a um PC e se comunica com os outros dispositivos, e os remotos, instalados em campo e que têm a função de transmitir informações de sensores para o centralizador e atuar de acordo com as informações vindas dele.

Os dois tipos de dispositivos diferem apenas em questão de *firmware*, sendo, portanto, possível utilizar qualquer dispositivo para ambas as funções se assim quisermos, a partir apenas da gravação do *firmware* correto no microcontrolador.

Na Figura 3.3 pode-se visualizar a última versão desenvolvida do hardware do sistema.

Figura 3.3 – Última versão de protótipo



O funcionamento do remoto é extremamente semelhante ao do sistema desenvolvido na fase anterior. Ele ainda se utiliza de multiplexadores para obter os valores de sensores utilizando o mesmo algoritmo anterior, porém o número de sensores foi diminuído para trinta e dois, portanto o número de multiplexadores foi diminuído para quatro. A mensagem que antes era

enviada para o computador agora é transmitida por meio do XBee para o centralizador e cada remoto tem um número de identificação.

O centralizador, por sua vez, exigiu a criação de um novo algoritmo. Todas as tarefas de administração de remotos, como a seleção, o envio e o armazenamento de valores foram transferidas para o computador, sendo função do centralizador apenas o intermédio. Ele é responsável por transmitir o que vem do PC para os remotos e vice-versa. Os detalhes da comunicação são assunto tratado à frente.

A partir da conclusão dessa última etapa do dispositivo foram realizadas algumas modificações com o único fim de facilitar a instalação em campo, principalmente com a modularização de funções através de circuitos independentes, separando a parte principal do sistema embutido de outras partes como a de comunicação e a de sensores e atuadores.

3.1.2. Criação de interface dispositivo/PC

A interface entre dois computadores exige diversos procedimentos para que haja garantia de que toda a informação transmitida entre eles seja recebida e interpretada de maneira correta. Existem diversos meios de comunicação que podem ser utilizados. No caso desse trabalho, o dispositivo se comunica através do PC através de uma conexão USB.

O USB se tornou extremamente popular para a comunicação de dispositivos com computadores e contém protocolos de comunicação bem definidos que permitem alta confiabilidade quanto à integridade dos dados.

O projeto inicialmente foi conectado ao computador via USB, porém era utilizado um modo que simulava uma conexão serial. Nesse modo não era possível utilizar de todo o potencial de uma conexão USB, portanto o objetivo inicial era a criação de uma interface que utilizasse os protocolos de comunicação USB. Em uma conexão desse tipo existem diversas opções de dispositivo. O selecionado para essa aplicação foi o HID (*Human Interface Device*, Dispositivo de Interface Humana, em tradução livre). Através desse padrão de interface é possível fazer o envio de pacotes de 64 bytes cada.

Tendo em vista o tamanho do pacote, era necessário a organização das informações que deveriam ser enviadas e recebidas para que se adequassem ao protocolo. A essa altura de desenvolvimento, o sistema embutido se encontrava em sua segunda fase, onde os valores de 64 sinais diferentes deveriam ser enviados ao computador.

Levando em consideração a resolução de cada sinal de 10 bits, seriam necessários 2 bytes (16 bits) para cada um dos sinais. Continuando o cálculo, dois pacotes (totalizando 128 bytes) seriam necessários para uma transmissão completa de todos os dados. Assim, para que fosse assegurada a transmissão de dados de maneira correta e a identificação de cada pacote (primeiro ou segundo pacote) não fosse falha foi necessária a criação de um algoritmo que identificasse cada um desses pacotes e os salvasse em seus devidos lugares. O desenvolvimento de algoritmos de comunicação, organização de dados e protocolos foi desenvolvido via *software* na linguagem Visual Basic 6.

A esse ponto de desenvolvimento, o sistema como um todo se modificou para a implementação da rede sem fio e, conseqüentemente a estrutura de comunicação também teve que ser modificada.

A primeira modificação crucial desse momento foi feita no número de sinais lidos. Os dispositivos de leitura de dados passaram a ter 32 canais e não mais 64. No ponto de vista da comunicação USB essa mudança simplifica intensamente o algoritmo de comunicação, pois sendo possível enviar toda a informação em um pacote apenas não há mais necessidade de sincronização.

A segunda modificação, tão notória quanto a primeira, é a necessidade de dizer de qual remoto o sistema está fazendo a requisição no momento. Isso significa que o PC deixa de apenas receber dados para também enviar requisições. Também utilizando os 64 bytes o sistema deve ser capaz de enviar um pacote que contenha a identificação do remoto e os dados operacionais de seus atuadores. Detalhes do protocolo e de como a rede se comporta serão discutidos em seguida, em outros tópicos do trabalho.

Além da função de se comunicar com os dispositivos, o *software* também tem o objetivo de guardar todas as informações captadas em um banco de dados, para futura análise de usuários e utilização para melhoramento do próprio sistema.

3.1.3. Criação de interface sem fio entre dispositivos

Todos os dispositivos do sistema (centralizador e remotos) estão conectados entre si através de uma rede sem fio. Essa rede utiliza a tecnologia *digimesh* que já possui um protocolo próprio, onde em caso de falhas na comunicação causadas por pacotes defeituosos ou por perda de algum dispositivo existente na rede sejam contornadas naturalmente.

Apesar de todas as ferramentas de segurança já nativas dos dispositivos de comunicação sem fio (XBee's), foram ainda implementados algoritmos de segurança que garantissem ao sistema a integridade dos dados. Assim como na interface com o computador, que é feita entre o centralizador e o PC, a comunicação entre os remotos e o centralizador também se limita a dois tipos:



Pacote de Requisição

PC envia para o centralizador um pacote de requisição contendo o ID do remoto e suas configurações de controle

O centralizador atua como by-pass, repassando o pacote enviado pelo PC para toda a rede sem fio

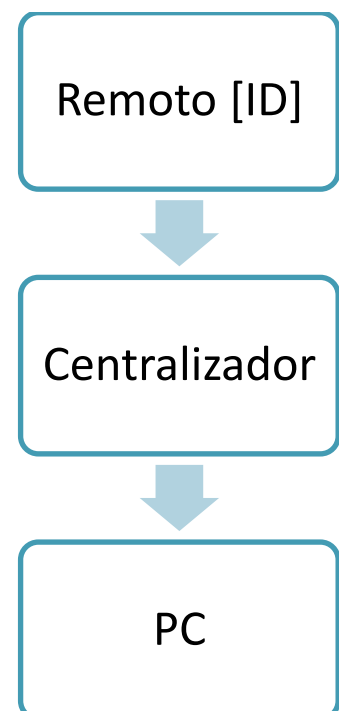
O remoto verifica se o pacote está direcionado para ele através verificando o ID no pacote. Em caso positivo o remoto aplica as configurações de controle e prepara para a aquisição de dados

Pacote de Resposta

Após identificar a requisição o remoto monta um pacote com as informações de todas suas entradas e os envia de volta ao centralizador

O centralizador atua novamente como by-pass, repassando o pacote vindo do remoto para o PC

O PC que já aguardava a resposta tem a identificação do remoto que enviou a resposta e trata de gravar os dados recebidos no banco de dados



O sistema depois de enviar um pacote, necessariamente deve receber uma resposta. Sendo assim, em caso de comunicação sem falhas, a informação recebida depois da requisição é facilmente identificada como sendo proveniente daquele remoto ao qual foi requisitado, sem a necessidade de identificadores no pacote de resposta. Isso permite uma utilização mais eficiente dos dados transmitidos.

Levando em consideração a grande quantidade de variáveis que podem levar um sistema de comunicação via rádio à falha, deve-se cobrir a possibilidade de não ser capaz de receber os dados requisitados. Essa falha do recebimento pode ser originada tanto na transmissão propriamente dita como na falha do próprio dispositivo. De qualquer forma, esse evento deve ser gravado de alguma maneira no banco de dados.

Através da padronização do tamanho dos pacotes e do envio de bytes de início e fim de pacote é possível analisar a integridade dos dados quando estes são entregues e, assim, identificar falhas. Para que o funcionamento da rede como um todo não seja comprometido devido a falha de um de seus integrantes, o sistema faz três tentativas de comunicação. Após essas tentativas, se nada é obtido, o sistema considera o remoto atual defeituoso e dá continuidade ao seu algoritmo, que consiste em alternar entre todos os remotos indefinidamente.

3.1.4. Estruturação do banco de dados

O banco de dados é essencial para um sistema que tem como intenção monitorar e analisar dados obtidos dentro de um intervalo de tempo. Além disso também um banco de dados pode ser utilizado para alimentar a inteligência do sistema.

No sistema desenvolvido existe a necessidade da existência de um mesmo banco de dados que possa ser acessado tanto pelo *software* desenvolvido, que está diretamente conectado à rede, como por um aplicativo *web* que acessa esses dados, os processa e os entrega aos usuários.

Devido ao histórico popular e, conseqüentemente a existência de uma quantidade vasta de materiais a respeito aos quais podemos ter acesso, foi escolhido o MySQL como sistema para administrar o banco de dados. Além disso considerou-se o conhecimento prévio desse tipo de linguagem.

Através do MySQL é possível criar tabelas relacionadas entre si, gravar uma grande variedade diferente de tipos de dados e sua operação é bastante simples e rápida. É possível cumprir todos os requerimentos necessários ao sistema desenvolvido.

O banco de dados é utilizado para armazenar, entre outras informações, valores históricos obtidos em todos os sensores, separados por remotos; a localização dos remotos e seu estado atual; equações e outras informações relacionadas aos sensores utilizados na rede e ainda o estado atual dos atuadores.

O armazenamento de dados é uma funcionalidade essencial do sistema, toda a usabilidade do sistema como um todo depende diretamente da gravação dos dados de maneira correta no banco de dados. É importante frisar que, além de sua função básica de armazenamento, o banco de dados é a única ligação entre a interface para usuários e a rede propriamente dita.

3.1.5. Criação de interface com usuários

Esse talvez seja o grande diferencial do sistema. Todos os dados coletados são disponibilizados imediatamente a todos os interessados. É possível interagir com o sistema de maneira simples através de qualquer dispositivo com acesso à internet.

Mesmo na possibilidade de um sistema inteligente que é capaz de lidar com todas as falhas previstas e de se tornar mais eficiente automaticamente através dos dados captados, ainda é interessante que os usuários sejam capazes de acessar essas informações e até mesmo, em determinados casos, alterar ações de atuadores.

Durante o início do desenvolvimento do projeto, a interface foi desenvolvida para um operador que tivesse acesso ao PC conectado à rede. Para isso era necessário a autenticação no software do sistema.

Através do software era possível analisar gráficos, criar relatórios, cadastrar novos usuários, entre outras funções. Porém, após analisar a cena tecnológica atual, tornou-se muito clara a nova tendência de aplicativos: a utilização à distância, através da internet. O surgimento de aplicativos *web* torna palpável a possibilidade de acessar as informações de um sistema diretamente de um dispositivo conectado à internet, sem a necessidade de estar no local de trabalho.

O uso da internet também torna clara a possibilidade da transmissão de informação a muito mais pessoas. É possível que essa informação chegue a todos os interessados sem um aumento expressivo de trabalho do desenvolvedor. Porém, o acesso à informação feito por pessoas de perfis tão diferentes exige também um ambiente que seja claro o suficiente para que todos esses diferentes perfis de usuários possam operá-lo.

A partir dessa análise decidiu-se criar uma interface de usuário que utilizasse uma plataforma *web*. Para que isso pudesse ser feito antes de tudo foi necessária a instalação de um servidor. Esse servidor foi instalado através o *software* Wamp. As ferramentas contidas no *software* são o servidor Apache, o interpretador de PHP e o banco de dados MySQL.

Assim como a maioria dos aplicativos atuais, o aplicativo do sistema está sempre em processo de atualização, levando-se em conta a rapidez em que surgem novas tecnologias e o fato de que há sempre melhorias para serem feitas na interface e no funcionamento.

O aplicativo desenvolvido atualmente cobre uma grande gama de funcionalidades, além de proporcionar ao administrador do sistema a configuração de sistemas e da interface para o usuário simples de maneira facilitada.

A interface foi construída com o intuito de cobrir todas as funcionalidades possíveis através de pequenas modificações. Para tal, foi criada uma página à qual só o administrador do sistema tem acesso. Nessa página o administrador tem acesso a todas as configurações básicas do sistema. É possível adicionar remotos, cadastrar sensores, criar condições que relacionam sensores e atuadores do sistema e também é possível configurar como os dados serão exibidos aos usuários. O administrador é capaz de selecionar quais variáveis serão mostradas ao usuário comum e como elas serão exibidas.

Além dessa página restrita, ainda existem outras páginas que dão acesso aos dados obtidos pelo sistema. É possível acessar o valor atual de cada sensor em tempo real através de um gráfico de linhas (Figura 3.4) ou através de indicadores relacionados ao tipo de variável medida (Figura 3.5).

Figura 3.4 – Gráfico de linhas

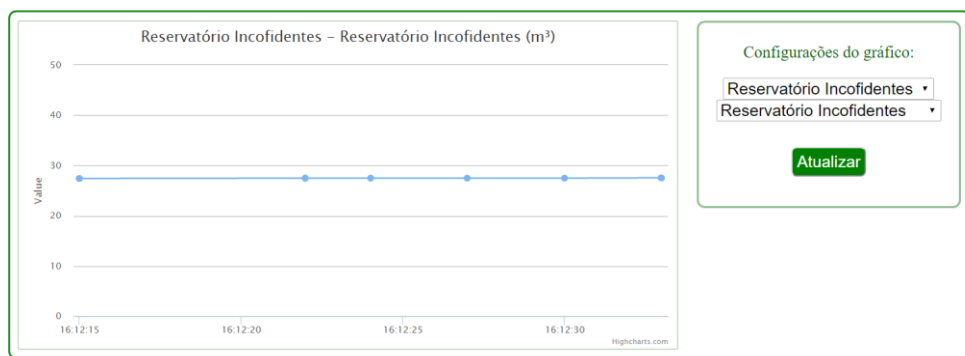
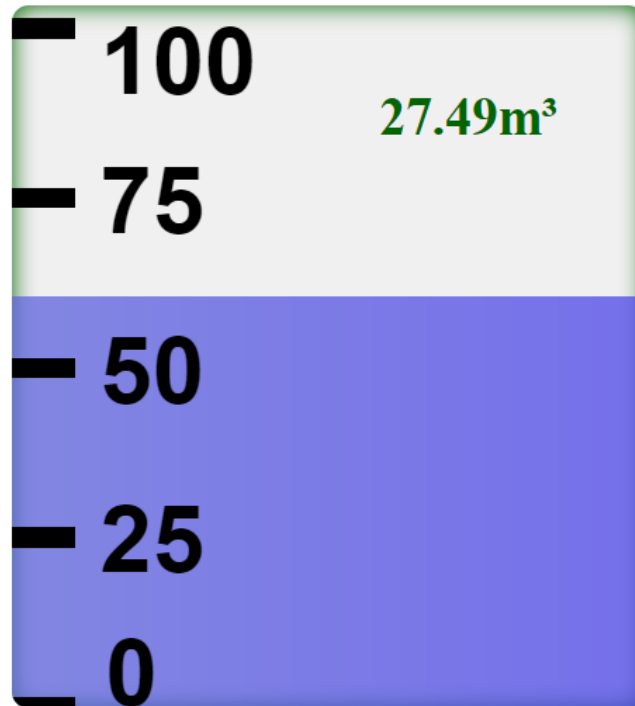


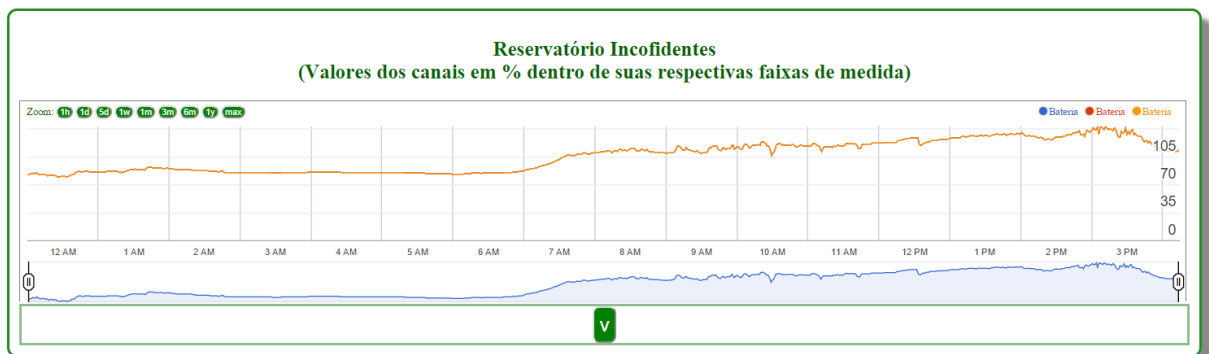
Figura 3.5 – Indicador de nível

Atualizado em: 22/02/2016 16:14:00
Capacidade: 46.00m³



Caso o usuário deseje fazer uma análise histórica dos dados, isso também é possível, tendo a possibilidade de análise de até três variáveis no mesmo gráfico (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Gráfico para análise histórica



Por fim, gestores do sistema, assim como os administradores, serão capazes de gerenciar os usuários e seus níveis de permissão.

A partir de todas essas funções o monitoramento do sistema e a transparência das informações são disponibilizados de maneira extremamente simples e personalizada e tudo isso pode ser

configurado com grande facilidade através da utilização de uma interface desenvolvida especialmente para ser adaptável e personalizada.

3.1.6. Estudo de caso: Gestão da água

A população mundial não para de crescer e a fatia de água poluída aumenta cada vez mais, tornando cada vez menor a disponibilidade de água potável para as pessoas. O surgimento de métodos que permitam a utilização eficiente desse recurso tão precioso é inevitável, por isso o primeiro foco do sistema desenvolvido tem relação direta com a gestão da água.

As possibilidades de uso do sistema para obter dados sobre água contida em reservatórios, estado de bombas e poços e, conseqüentemente disponibilidade e qualidade da água consumida permitem seu consumo consciente e eficiente.

Em parceria com um condomínio, o principal objetivo deste estudo de caso é validar o sistema e ao mesmo tempo inseri-lo no mercado. O condomínio possui um grande número de famílias instaladas e, obviamente, necessita de tanques e poços para garantir que a água chegue a todos. Ainda assim, as informações a respeito da água são extremamente deficientes e nem sempre todos podem usufruir dela.

Após o estudo da planta do condomínio e a localização de todos os pontos potenciais de instalação optou-se por iniciar com três pontos: um reservatório, a central onde os dados serão salvos e um poço que bombeia água para o reservatório. Inicialmente serão medidos apenas o nível do poço, o nível do reservatório e a potência desenvolvida pela bomba. O sistema será expandido progressivamente e com a captação de uma grande quantidade de dados, será criada inteligência que permita ao sistema julgar o melhor momento para atuar sobre bombas e válvulas.

Após finalizados todos os estudos e instalações, será possível aos moradores do condomínio, assim como aos funcionários, acessar informações pertinentes aos seus níveis de acesso ao sistema, ajudando também na conscientização das pessoas, que poderão consultar a quantidade e a qualidade da água que têm disponível. Além disso, existe ainda a possibilidade da implementação futura de medições individuais de consumos, instaladas em cada moradia do condomínio.

3.2. Resultados

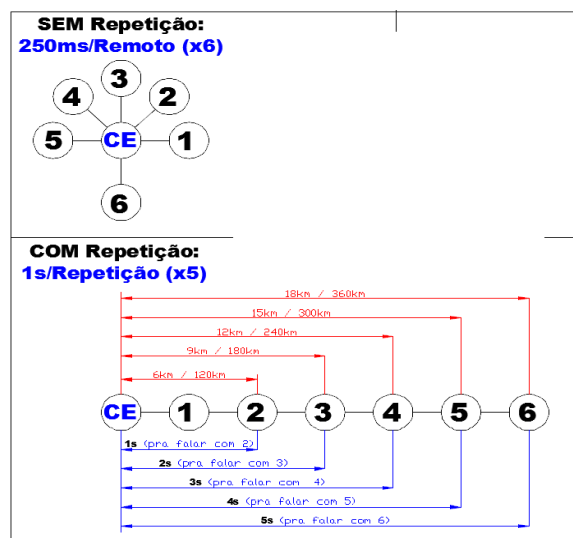
Para obter um sistema confiável é necessária uma bateria de testes de avaliação. O sistema tem que ser avaliado em todos os seus aspectos redundantemente, até que seja possível atestar sua funcionalidade. Neste subitem serão apresentados os resultados relacionados aos experimentos executados em laboratório e, em seguida, alguns dados já obtidos através do estudo de caso. As informações do estudo de caso serão menos precisas, pois esse estudo se encontra em desenvolvimento.

3.2.1. Resultados gerais.

A cada etapa de desenvolvimento do projeto foram realizados diversos testes, para que os problemas não se acumulassem de uma etapa para outra. Finalmente, após a obtenção de uma rede que se comunicasse por si só, parâmetros diferentes foram testados para obter a melhor configuração possível para que o sistema obedeça a todos os requisitos necessários para o seu funcionamento. Precisamos de um sistema que se comunique rápido, para que tenhamos uma frequência de dados obtidos em que não são perdidos momentos críticos nos estados dos sensores, mas precisamos também de um sistema que tenha a capacidade de entregar, sem problemas, informações concisas, sem que nenhum dado seja perdido durante a transmissão.

Para garantir a validade das informações foram feitos testes em diferentes topologias de rede, variando-se a frequência de comunicação entre os módulos, de acordo com a Figura 3.7, onde CE representa o centralizador e os números 1, 2, 3, 4, 5 e 6 representam os remotos:

Figura 3.7 – Topologias de rede



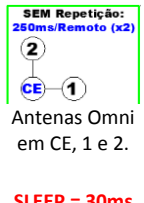
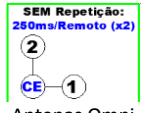
É possível observar a variação do tempo de resposta de acordo com o número de repetições necessárias para a comunicação. Os tempos mostrados na figura foram obtidos depois de se atestar a garantia da entrega dos dados.

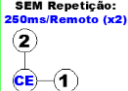
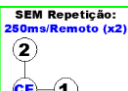

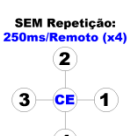
Para fins de diagnóstico, o sistema salva variáveis referentes à qualidade da comunicação ente os remotos e o centralizador. Essas variáveis foram nomeadas pela equipe como:

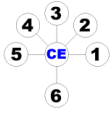
- Requisições: número de requisições enviadas pelo centralizador a um remoto qualquer
- Respostas: número de respostas obtidas pelo centralizador
- Retentativas: número de vezes em que o centralizador precisou reenviar uma requisição
- Falhas: o sistema faz no máximo três retentativas para cada requisição. Quando não se obtém resposta, diz-se que uma falha foi obtida.

Testes foram realizados em várias versões diferentes do sistema e seus resultados podem ser conferidos a seguir na Tabela 3.1. Os testes foram realizados em diferentes configurações: na coluna Remotos com Alimentação Conectada são listados os ID's de remotos que estão ligados, mas não necessariamente ativos na rede; na coluna Remotos Ativos na Varredura são especificados entre os remotos alimentados, aqueles que exercem função na rede, recebendo requisições e enviando resposta; na coluna Nº de Roteadores, é exibida a topologia utilizada, onde CE é o centralizador e os números indicam os remotos.

Tabela 3.1 – Testes de comunicação.

Versão	Remotos com Alimentação Conectada	Remotos Ativos na Varredura	Nº de Roteadores	Resultados
v.14 - 25.03.2015 <u>Obs:</u> SEM criptografia	d001	d001		Requisições: 15341
	d002	d002		Respostas: 15326 15 Retentativas, zero falhas! Índice de Retentativas: 0,0978% Índice de falhas: 0,00% Máximo de tentativas: 2
	d001	d001		Requisições: 197596
	d002	d002		Respostas: 196800
	d003			796 Retentativas, zero

			em CE, 1 e 2. SLEEP = 30ms	falhas! Índice de Retentativas: 0,4028% Índice de falhas: 0,00% Máximo de tentativas: 2
	d001 d002 d003 d004	d001 d002	SEM Repetição: 250ms/Remoto (x2)  Antenas Omni em CE, 1 e 2. SLEEP = 30ms	Requisições: 9008 Respostas: 8969 39 Retentativas, zero falhas! Índice de Retentativas: 0,4329% Índice de falhas: 0,00% Máximo de tentativas: 2
	d001 d002 d003 d004 d005 d006	d001 d002	SEM Repetição: 250ms/Remoto (x2)  Antenas Omni em CE, 1, 2, 5, 6 e fio em 3 e 4. SLEEP = 30ms	Requisições: Respostas: Retentativas, zero falhas! Índice de Retentativas: 0,% Índice de falhas: 0,00% Máximo de tentativas: x
	d001 d002 d003 d004	d001 d002 d003 d004	SEM Repetição: 250ms/Remoto (x4)  Antenas Omni em CE, 1 e 2 e fio em 3 e 4. SLEEP = 30ms	Requisições: 101582 Respostas: 101152 430 Retentativas, zero falhas! Índice de Retentativas: 0,4233% Índice de falhas: 0,00% Máximo de tentativas: 2
v.14 - 25.03.2015 Obs: SEM criptografia Obs: em VERDE , Remotos com	d001 d002 d003 d004 d005 d006	d001 d002 d003 d004	SEM Repetição: 250ms/Remoto (x4)  Antenas Omni em CE, 1 e 2 e fio em 3 e 4. SLEEP = 30ms	Requisições: 37135 Respostas: 36941 194 Retentativas, zero falhas! Índice de Retentativas: 0,5224% Índice de falhas: 0,00%

XBee carregados com firmware 8x4x (verificar numeração exata!)				Máximo de tentativas: 2
	d001	d001	SEM Repetição: 250ms/Remoto (x8)  Antena Omni em CE, 1 a 6 sem antena (RPSMA). SLEEP = 30ms	Requisições: 7169
	d002	d002		Respostas: 7159
	d003	d003		10 Retentativas, zero falhas!
	d004	d004		Índice de Retentativas: 0,1395%
	d005	d005		Índice de falhas: 0,00%
	d006	d006		Máximo de tentativas: 1

Ao observar a tabela pode-se notar a extrema eficiência do sistema e a inexistência de falhas, o que significa que todos os dados são recebidos. A partir de todos os testes realizados no laboratório e da obtenção de bons resultados, segue-se para a primeira instalação do sistema em campo, onde serão realizados os últimos testes antes da fabricação de um produto real.

3.2.2. Resultados do Estudo de Caso

Os primeiros testes do protótipo instalado em campo foram realizados apenas através dos próprios dados gerados pelo sistema. É possível observar na Figura 3.8 o comportamento de um reservatório real: os momentos em que ele é cheio, assim como os momentos em que a água é consumida e mesmo o momento em que a água se acaba.

Figura 3.8 – Análise histórica de reservatório real



Através de testes de aferição no local foi realizada a calibração de um sensor de pressão, utilizado para a medição do nível de água, de acordo com a coluna superior ao nível do sensor. O sensor foi inserido no reservatório e uma equação gerada para ele, de acordo com as características do reservatório.

O teste mostrou resultados muito satisfatórios. Todos os dados são concisos e facilmente acessados. Novos testes serão realizados no futuro, mas já é possível aferir que o sistema exibe um funcionamento de qualidade.

É possível inferir através dos gráficos dados como consumo de água em um dia, vazão em determinado período de tempo, além de observar períodos onde o consumo é muito grande ou muito pequeno.

4.CONCLUSÃO

A construção do sistema se mostrou um grande feito, levando em conta o sucesso em sua realização. A atuação e o monitoramento de dispositivos distantes geograficamente através de uma rede sem fio que os conecta todos é possível e eficaz. Os resultados dos testes mostraram que através da rede desenvolvida é possível lidar com dados de maneira a retratar com precisão surpreendente a realidade de um processo. Esses dados podem ser utilizados para gerar estratégias de controle eficazes, proteção de bombas e a previsão da necessidade do aumento ou mudança na captação. É possível também prever antecipadamente a falta de água nos poços e alertar aos gestores e/ou usuários. Além de ser possível o acompanhamento em tempo real é também possível ter acesso aos dados coletados durante todo o tempo em que a rede permanece instalada. Através desse sistema pode-se obter muitos produtos diferentes devido à sua vasta aplicação e flexibilidade.

Futuros trabalhos que utilizem essa tecnologia podem tratar diversos casos diferentes, como o monitoramento de movimento gravitacional de massa em encostas, que permite prever deslizamentos de terra e talvez preveni-los, ou mesmo aplicado a outros recursos como energia elétrica e gás, além de ser possível fazer essas leituras individuais, por residência.

REFERÊNCIAS

USB.org. Disponível em: <www.usb.org>. Acesso em: 20 Abril 2013.

CASTELUCCI, D. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES. **Daniella Castelucci**, 2011. Disponível em: <<https://daniellacastelucci.wordpress.com/2011/04/08/protocolos-de-comunicacao-em-redes-de-computadores/>>. Acesso em: 21 Janeiro 2016.

ELMARSI, R.; B. NAVATHE, S. **Sistemas de bancos de dados**. 6ª. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

EVANS, D. **A Internet das Coisas - Como a próxima evolução da internet está mudando tudo**. [S.l.]: Cisco, 2011.

FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial - Conceitos, Aplicações e Análises**. 2ª. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2004.

GARCIA-MOLINA, H.; D. ULLMAN, J.; WIDOM, J. **Implementação de Sistemas de Bancos de Dados**. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 2001.

LIRA, D. Internet das Coisas. **porvir**, 2013. Disponível em: <<http://porvir.org/wiki/internet-das-coisas/>>. Acesso em: 21 Janeiro 2016.

MORAES PAES, W. Interoperabilidade móvel: a internet das coisas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 12, p. 794-810, 2014.

MORIMOTO, C. E. **Hardware - O guia definitivo**. [S.l.]: GDH Press e Sul Editores, 2007.

SILBERSCHATZ, A.; F. KORTH, H.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Bancos de Dados**. 3ª. ed. São Paulo: Makron Books, 2005.

SOUZA, D. J. D. **Desbravando o PIC - Ampliado e atualizado para PIC 16F628A**. 12ª. ed. São Paulo: Érica, 2011.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. D. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. 3ª. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2007.

TORRES, G. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2011.

WERNECK, M. M. **Transdutores e Interfaces**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.