



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Dilermando da Costa Ferreira Neto

**SISTEMA EMBARCADO PARA
MONITORAMENTO E SEGURANÇA DE
GASES INFLAMÁVEIS EM VEÍCULOS DE
TRANSPORTE**

Manaus
2015

Dilermando da Costa Ferreira Neto

SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO E SEGURANÇA DE GASES INFLAMÁVEIS EM VEÍCULOS DE TRANSPORTE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro, em conformidade com as normas ABNT.

Orientador M.Sc. Marcelo Albuquerque de Oliveira

Manaus
2015

Dilermando da Costa Ferreira Neto

**SISTEMA EMBARCADO PARA
MONITORAMENTO E SEGURANÇA DE GASES
INFLAMÁVEIS EM VEÍCULOS DE TRANSPORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro. em conformidade com as normas ABNT.

Trabalho aprovado. Manaus, 25 de junho de 2015:

Me. Marcelo Albuquerque de Oliveira
Orientador

Dr. Walter Andrés Vermehren
Valenzuela
Presidente da banca

Dr. Luis Delfin Rojas Purón
Convidado 1

Prof. Marivan Silva Gomes
Convidado 2

Manaus
2015

AGRADECIMENTOS

À Deus, o engenheiro celestial, por me dar forças para superar todas as dificuldades encontradas e me mostrar o caminho da luz.

À Universidade do Estado do Amazonas, e em especial à Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação, por todos os conhecimentos ensinados durante todos os anos de graduação.

Ao meu querido orientador, professor Marcelo Albuquerque, pelo apoio e suporte prestados durante este projeto.

Aos meus pais, já falecidos, pela motivação aos estudos dada durante seus anos de vida.

Aos meus irmãos Sanmea e Pietro, por me ajudarem a levantar todos os dias para lutar contra as adversidades diárias.

Aos meus padrinhos Alisson e Lianne, por todos os ensinamentos e amor dados durante meus anos de vida.

À minha querida namorada, Jessica Ribeiro, pelo carinho e motivação dados nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos e companheiros que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, entre os quais, Isabelle Stoco, Lucas Bonetti, Rafael Goulart, Izoneide Leite, Daniel Oliveira, Cassio Rodrigo, Artemir Guerra, Jefferson Silva e Rubens Schatz.

De modo especial gostaria de agradecer aos meus amigos Antonio Medeiros, Eiji Maeda, Rodrigo Santa Rita, Filipe Máximo e Carlos Alberto.

Aos professores Walter Vermehren, Marlene Araújo, Almir Kimura, Charles de Melo, Luiz Purón, Elder Ávila, Daniel Gúzman, Israel Mazaira e Moisés Bastos, pela contribuição de cada um ao meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

"Veni, Vidi, Vici"
Gaius Julius Caesar

RESUMO

Neste projeto foi construído um protótipo de sistema embarcado para monitoramento remoto de gases inflamáveis em veículos de transporte de carga. São monitorados os sinais de concentração de gás GLP, butano, propano. São adquiridos os dados de posicionamento do sistema por meio de um módulo GPS, as informações são enviadas por meio de um módulo XBee para a interface de monitoramento do sistema supervisorio, onde é feita a análise dos dados coletados e a geração dos alarmes de emergência na ocorrência de detecção e aumento da concentração de gás. Para implantar esse sistema, foi utilizado um microcontrolador Arduino® integrado a um módulo XBee, dois sensores de gases inflamáveis MQ-2 e MQ-4, um módulo GPS e foi desenvolvido um sistema supervisorio em MATLAB®. O trabalho integra os resultados dos testes realizados, as dificuldades obtidas e sugestões de trabalhos futuros.

Palavras-chaves: monitoramento remoto, sistemas embarcados, arduino, xbee

ABSTRACT

In this project an embedded system prototype was built to remote monitoring of flammable gases in cargo transport vehicles. The gas concentration signals of LPG, butane, propane, are monitored. System positioning data are acquired through a GPS module, the data is sent through an XBee module to the monitoring interface of the supervisory system, where the analysis of the collected data and the generation of emergency alarms is done in occurrence of detecting and increase of gas concentration. To implement this system, were used an integrated microcontroller Arduino®, a xbee module, two flammable gas sensors and MQ-2 and MQ-4, a GPS module and a supervisory system was developed using MATLAB®. This work includes the results of the tests, the difficulties and suggestions for further work.

Key-words: remote monitoring, embedded systems, arduino, xbee

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Arquitetura de um sistema embarcado | 17 |
| Figura 2 – Exemplos de sistemas embarcados | 17 |
| Figura 3 – Arduino UNO | 19 |
| Figura 4 – Sensores diversos | 20 |
| Figura 5 – Representação da barreira potencial na ausência de gases inflamáveis | 20 |
| Figura 6 – Representação da barreira potencial na presença de gases inflamáveis | 21 |
| Figura 7 – Topologias das redes Zigbee | 23 |
| Figura 8 – Exemplo de interface gráfica em Matlab® | 24 |
| Figura 9 – Exemplo de Sistema Supervisório | 25 |
| Figura 10 – Equações para cálculo do LII e LSI | 26 |
| Figura 11 – Estrutura funcional do protótipo | 29 |
| Figura 12 – Protótipos das estações de monitoramento de contaminação ambiental | 30 |
| Figura 13 – Simulação de comportamento de difusão com vento <2m/s e temperatura entre 20 e 50 graus | 30 |
| Figura 14 – Interfaces de sistema de transponder | 31 |
| Figura 15 – Visão geral do sistema proposto | 33 |
| Figura 16 – Interface de monitoramento do sistema | 34 |
| Figura 17 – Gráfico da velocidade medida | 34 |
| Figura 18 – Gráfico da quantidade de pessoas | 35 |
| Figura 19 – Metodologia de desenvolvimento do trabalho | 36 |
| Figura 20 – Estrutura de monitoramento de gases | 37 |
| Figura 21 – Microcontrolador Arduino Duemilanove | 38 |
| Figura 22 – Sensor de gás MQ-4 | 39 |
| Figura 23 – Pinagem do sensor de gás MQ-2 e MQ-4 | 40 |
| Figura 24 – Algoritmo desenvolvido para teste do sensor MQ-2 | 41 |
| Figura 25 – Resultados obtidos com a leitura do sensor MQ-2 | 41 |
| Figura 26 – Resultados obtidos com a leitura do sensor MQ-4 | 42 |
| Figura 27 – Gráfico gerado em MATLAB sensor MQ-2 | 42 |
| Figura 28 – Gráfico gerado em MATLAB sensor MQ-2 | 43 |
| Figura 29 – Módulo XBee PRO 802.15.4 | 44 |
| Figura 30 – XBee Shield | 45 |
| Figura 31 – XBee Explorer | 45 |
| Figura 32 – Interface de configuração X-CTU | 46 |
| Figura 33 – Configurações do módulo XBee | 47 |
| Figura 34 – Principal | 47 |
| Figura 35 – Mapa demonstrando o teste de distância realizado | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 36 – Módulo GPS Fastrax UP501 | 49 |
| Figura 37 – Circuito de funcionamento módulo GPS Fastrax UP501 | 49 |
| Figura 38 – Circuito de funcionamento módulo GPS Fastrax UP501 | 51 |
| Figura 39 – Formato de frase GPRMC | 51 |
| Figura 40 – Bateria Hub 6000 myCharge® | 53 |
| Figura 41 – Desenho esquemático do circuito do sistema embarcado | 54 |
| Figura 42 – Posicionamento do shield | 54 |
| Figura 43 – Posicionamento do shield sobre o microcontrolador | 55 |
| Figura 44 – Conexão dos sensores MQ-2 e MQ-4 ao shield | 55 |
| Figura 45 – Conexão do módulo GPS ao shield | 56 |
| Figura 46 – Montagem do sistema embarcado | 56 |
| Figura 47 – Base do suporte em acrílico | 57 |
| Figura 48 – Parafuso utilizado para fixação | 57 |
| Figura 49 – Renderização da montagem do suporte | 58 |
| Figura 50 – Vista superior da renderização da montagem | 59 |
| Figura 51 – Processo de manufatura do suporte de acrílico | 59 |
| Figura 52 – Montagem do Sistema Embarcado | 60 |
| Figura 53 – Interface de Monitoramento em MATLAB® | 61 |
| Figura 54 – Ambiente de simulação interna | 62 |
| Figura 55 – Resultados obtidos para o sensor MQ-2 para ambiente em equilíbrio | 63 |
| Figura 56 – Resultados obtidos para o sensor MQ-4 para ambiente em equilíbrio | 63 |
| Figura 57 – Teste com spray aerosol - butano e propano | 64 |
| Figura 58 – Resultados obtidos para o sensor MQ-2 para ambiente interno | 64 |
| Figura 59 – Resultados obtidos para o sensor MQ-4 para ambiente interno | 65 |
| Figura 60 – Mapa gerado com os dados GPS - Ambiente interno | 66 |
| Figura 61 – Mapa gerado com os dados GPS - Ambiente externo | 67 |
| Figura 62 – Teste de distância de transmissão | 68 |
| Figura 63 – Circuito de teste sensor MQ-2 | 69 |
| Figura 64 – Escala logarítmica de sensibilidade MQ-2 | 70 |
| Figura 65 – Escala logarítmica de sensibilidade MQ-4 | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tabela de comparação entre métodos de comunicação sem fio | 22 |
| Tabela 2 – Dispositivos de rede zigbee | 23 |
| Tabela 3 – Limites de Inflamabilidade de gases combustíveis | 26 |
| Tabela 4 – Especificações técnicas Arduino Duemilanove | 38 |
| Tabela 5 – Especificações técnicas sensor MQ-2 | 40 |
| Tabela 6 – XBee PRO 802.15.4 | 44 |
| Tabela 7 – Configuração dos módulos XBee | 48 |
| Tabela 8 – Características técnicas módulo GPS Fastrax UP501 | 50 |
| Tabela 9 – Especificações técnicas bateria Hub 6000 myCharge® | 53 |
| Tabela 10 – Tempo de aquisição de dados - Ambiente interno | 65 |
| Tabela 11 – Tempo de download de dados - Ambiente externo | 66 |
| Tabela 12 – Limites de Inflamabilidade de gases combustíveis em ppm | 71 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Problemática | 12 |
| 1.2 | Justificativa | 13 |
| 1.3 | Motivação | 13 |
| 1.4 | Objetivos | 13 |
| 1.4.1 | Objetivo geral | 13 |
| 1.4.2 | Objetivos específicos | 14 |
| 1.5 | Metodologia | 14 |
| 1.6 | Organização do trabalho | 15 |
| 2 | SISTEMAS DE MONITORAMENTO REMOTO | 16 |
| 2.1 | Redes de sensores sem fio | 16 |
| 2.2 | Sistemas embarcados | 16 |
| 2.3 | Microcontroladores | 18 |
| 2.3.1 | Plataforma arduino | 18 |
| 2.4 | Sensores | 19 |
| 2.4.1 | Sensores de estado sólido para gases inflamáveis | 20 |
| 2.5 | Comunicação sem fio | 21 |
| 2.5.1 | Protocolo zigbee | 22 |
| 2.6 | Matlab® | 24 |
| 2.7 | Sistemas supervisórios | 24 |
| 2.8 | Transporte de produtos perigosos | 25 |
| 2.9 | Limites de inflamabilidade de gases | 26 |
| 3 | TRABALHOS RELACIONADOS | 28 |
| 3.1 | Emprego de rede modular automatizada remota de plataformas de monitoramento da presença de metano, dióxido de enxofre e monóxido de carbono | 28 |
| 3.2 | Definição de requisitos para um sistema de monitoramento de veículos no transporte rodoviário de cargas | 31 |
| 3.3 | Sistema telemétrico para monitoramento de trens através de redes de sensores sem fio e processamento em sistema embarcado | 32 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 4.1 | Implementação do sistema embarcado | 36 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Microcontrolador arduino duemilanove | 37 |
| 4.3 | Sensores MQ-2 e MQ-4 | 39 |
| 4.4 | Módulo XBee PRO 802.15.4 | 43 |
| 4.5 | Módulo GPS Fastrax UP501 | 49 |
| 4.6 | Módulo cartão SD | 52 |
| 4.7 | Bateria hub 6000 myCharge® | 52 |
| 4.8 | Montagem e construção da estrutura física | 53 |
| 4.9 | Sistema supervisor em MATLAB® | 60 |
| 5 | SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 62 |
| 5.1 | Simulação em ambiente interno | 62 |
| 5.1.1 | Simulação com butano e propano | 64 |
| 5.1.2 | Simulação da aquisição de dados GPS | 65 |
| 5.2 | Simulação em ambiente externo | 66 |
| 5.2.1 | Simulação da aquisição de dados GPS | 66 |
| 5.3 | Teste distância de transmissão | 67 |
| 5.4 | Definição dos alarmes de detecção de gás e emergência | 68 |
| 6 | CONCLUSÕES | 73 |
| 6.1 | Dificuldades encontradas | 73 |
| 6.2 | Trabalhos Futuros | 74 |
| | REFERÊNCIAS | 75 |
| | ANEXO A – ALGORITMO DE AQUISIÇÃO DE DADOS GPS UP501 | 77 |

1 INTRODUÇÃO

O transporte é uma atividade importante para a movimentação de bens e produtos. Segundo Vieira (2009), a importância de um sistema de transporte eficaz se reflete em todos os setores da economia de um país. Entretanto, acidentes de trânsito acontecem freqüentemente e não é difícil encontrar notícias sobre aqueles que envolvem veículos de transporte de cargas, que muitas vezes acabam por liberar produtos perigosos que podem prejudicar o meio-ambiente e a saúde da população.

Reina (2007) cita como exemplo os dados de um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (Ipea), no qual dados comprovam que um caminhão se acidenta a cada 5 minutos nas rodovias federais brasileiras. Quando esse tipo de acidente ocorre, o mais importante é a velocidade de reação para a tratativa dos problemas para a contenção dos produtos perigosos despejados. Caso não seja feito a tempo, os produtos perigosos podem causar danos irreparáveis ao meio ambiente e à população próxima ao local do acidente.

O presente projeto visa o desenvolvimento de um sistema que facilite o alerta de emergência no caso de vazamento de gases inflamáveis, que estejam em processo de transporte, de forma que sejam tomadas ações para prevenir acidentes e aumentar a velocidade de resposta das autoridades responsáveis em situações críticas, que colocam em risco várias vidas.

1.1 Problemática

A necessidade de implementar um método adequado para o monitoramento do estado de gases inflamáveis é essencial para aumentar a segurança durante o processo de transporte desses produtos. Os atuais sistemas de monitoramento tem foco em controlar uma série de variáveis relacionadas ao próprio veículo de transporte, ignorando o estado da carga transportada. Kouri (2007) estabelece que a maioria dos sistemas de rastreamento possui sensores e atuadores acoplados aos veículos que recebem as seguintes informações:

- Atualização da posição geográfica em curtos intervalos de tempo;
- Estado da ignição do veículo (ligado, desligado);
- Indicação de abertura de portas e da porta do baú;
- Alarme de botão de pânico acionado pelo motorista em caso de assalto;
- Possibilidade de envio e recepção de mensagens de texto para o motorista;
- Bloqueio de combustível e travamento das portas feito remotamente pela central;

Dessa forma existe a oportunidade de explorar o campo de monitoramento de gases inflamáveis, de forma a complementar os atuais sistemas de monitoramento de veículos.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento de um sistema de alerta para veículos de transporte de cargas perigosas envolve uma série de conhecimentos que foram estudados dentro das disciplinas do curso de Engenharia de Controle e Automação, sendo dessa forma uma ótima forma de aplicar aquilo que foi visto em teoria com a resolução de um problema de ordem prática. Entre as disciplinas vistas, podemos citar explicitamente: Redes de Computadores; Informática Industrial, Circuitos Elétricos I e II, Linguagem de Programação I e II. Infelizmente é muito comum encontrarmos notícias relatando sobre acidentes de trânsito envolvendo veículos de transporte de cargas perigosas, muitas vezes causando danos ambientais.

O projeto de um sistema de alarme para transporte de gases em ambientes confinados possibilitaria o aumento da velocidade de resposta na ocorrência de um acidente, além de fornecer antecipadamente às equipes de resgate informações sobre o tipo de carga transportada e seus riscos, de forma que elas pudessem chegar ao local do acidente melhor preparadas para tomar as medidas de contenção.

1.3 Motivação

A engenharia, ciência e tecnologia são fascinantes campos do conhecimento humano que nos ajudam a melhorar a qualidade de vida e a segurança da população, e assim devem servir sempre como motivação para o desenvolvimento de novos projetos. Dessa forma, o monitoramento do transporte de cargas perigosas é fundamental para a prevenção de acidentes e para a correta tomada de decisões no caso de desastres. Além disso, a prevenção de acidentes também se faz importante para a preservação do meio ambiente, ao evitar que produtos tóxicos e perigosos possam prejudicá-lo. Esse tipo de monitoramento também abre espaço para o desenvolvimento de projetos desafiadores, ao tratar de métodos de comunicação remota e controle de variáveis críticas para a prevenção de acidentes.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Implantar um protótipo de sistema embarcado para monitorar gases inflamáveis em veículos de transporte de carga remotamente a curtas distâncias, de forma a enviar os

dados coletados para uma interface de monitoramento, que ativará um sinal de alerta caso haja uma anomalia nas variáveis controladas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudo e pesquisa do funcionamento de sistemas embarcados.
- Estudo e testes individuais dos componentes utilizados (microcontrolador, sensores, módulo de comunicação e GPS).
- Montagem do protótipo do sistema embarcado e construção de estrutura de suporte.
- Desenvolvimento de um sistema supervisor para monitoramento por meio de uma interface gráfica em Matlab®.
- Realizar simulações em ambiente fechado e controlado em condições ambiente, analisar os resultados para comprovar a eficácia do protótipo.
- Definir a forma de ativação dos alarmes da interface de monitoramento para atuar em ações de contenção e medidas preventivas.

1.5 Metodologia

Preliminarmente, serão feitas pesquisas bibliográficas nas áreas de sistemas embarcados, microcontroladores, sensores, comunicações sem fio, gases inflamáveis e o transporte de produtos perigosos. Nas etapas subseqüentes será feita a implantação do sistema embarcado, a programação do algoritmo de funcionamento e o desenvolvimento da interface de usuário que permitirá o monitoramento das variáveis a serem estabelecidas. Em seguida, será feita a etapa de testes e ajustes para a comprovação do correto funcionamento do dispositivo.

A implantação do sistema embarcado e supervisor será feito em quatro etapas. A primeira etapa será a construção do sistema embarcado, onde serão acoplados ao microcontrolador os módulos necessários para o sensoriamento das variáveis e para transmissão de dados fio. Em paralelo, será desenvolvido o software para tratamento dos dados adquiridos e o seu envio para o sistema supervisor. A segunda etapa será o desenvolvimento da interface gráfica do sistema supervisor, referente à recepção dos dados enviados pelo sistema embarcado. A terceira etapa consistirá na configuração da rede de comunicação entre a interface e o sistema embarcado. A quarta etapa será dedicada às simulações e ajustes dos sistemas, de forma que possa ocorrer o correto funcionamento dos mesmos.

As principais funções a serem testadas serão a aquisição, o tratamento e envio dos dados coletados pelo sistema embarcado; e a recepção e adequada visualização dos dados recebidos pela interface, além da função de emissão de alarme ao detectar uma anomalia.

1.6 Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em dois capítulos, conforme apresentados na seqüência abaixo:

No capítulo 1 é apresentado o propósito do trabalho, a formulação do problema estudado, os objetivos gerais e específicos, as motivações, a justificativa, a metodologia e uma breve apresentação de como o trabalho está organizado.

No capítulo 2 é explorado o referencial teórico e todo o embasamento necessário para o desenvolvimento do trabalho, além da descrição das tecnologias que serão aplicadas.

No capítulo 3 são apresentados três trabalhos cujos temas são relacionados à este projeto. Os mesmos são descritos de forma resumida, dando ênfase para seus métodos e resultados obtidos.

No capítulo 4 são descritos os materiais utilizados para a construção do sistema embarcado, da interface de monitoramento e os algoritmos utilizados para a funcionamento do sistema.

No capítulo 5 são demonstradas as simulações e testes feitos para ajuste do sistema e verificação do correto funcionamento do mesmo.

No capítulo 6 são feitas as conclusões sobre o projeto, as principais dificuldades são expostas e são feitos comentários sobre possíveis trabalhos futuros.

2 SISTEMAS DE MONITORAMENTO REMOTO

2.1 Redes de sensores sem fio

Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) são uma tecnologia emergente que promete uma funcionalidade sem precedentes para monitorar, instrumentar, e, possivelmente, controlar o mundo físico. Redes de sensores sem fio consistem de um grande número de dispositivos sem fios (nós sensores ou simplesmente sensores) densamente distribuídos em uma região de interesse. Sensores têm conectividade sem fio e são conectados a uma rede, tal como a Internet. Eles são tipicamente alimentados por baterias com comunicação e funções de computação limitadas. Cada nó pode ser equipado com uma variedade de modalidades de sensoriamento tais como acústico, sísmico, e infra-vermelho. (LOUREIRO, 2015)

Redes de sensores sem fio (RSSFs) diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas redes possuem um grande número de nós distribuídos, tem restrições de energia, e devem possuir mecanismos para auto-configuração e adaptação devido a problemas como falhas de comunicação e perdas de nós. (LOUREIRO et al., 2003)

Segundo Rocha (2010), algumas das funções típicas de nós-sensores em uma RSSFs são:

- Determinar o valor de algum parâmetro em um determinado local;
- Detectar eventos e estimar parâmetros em função do evento detectado;
- Classificar um objeto detectado;
- Rastrear um objeto.

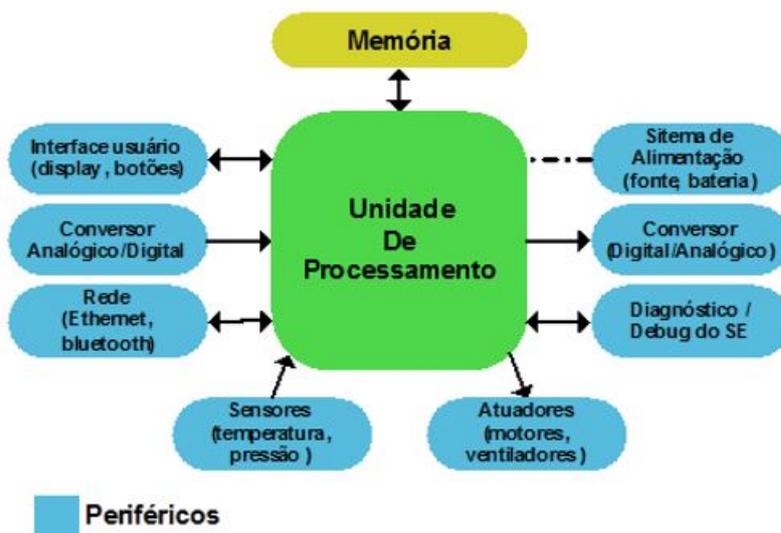
Dessa forma, as redes de sensores sem fio se mostram adequadas para a implementação de um sistema para o monitoramento de gases. Os nós-sensores podem fazer a aquisição dos dados de concentração de gases que seriam enviados ao nó central e este faria o envio para a interface de monitoramento.

2.2 Sistemas embarcados

Na visão de Jobstraibizer (2010), um Sistema Embarcado, também conhecido como embutido, é um sistema microprocessado no qual um tipo de computador é completamente encapsulado em um dispositivo, ou sistema, controlado por ele. Ao contrário de computadores de uso geral, como os computadores pessoais, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas previamente definidas, e com fins específicos. Mais ainda, o autor

defende que boa parte dos atuais dispositivos embarcados comunicam-se com outros dispositivos através de conexões sem fio. A arquitetura básica de um sistema embarcado é mostrada na imagem 1:

Figura 1 – Arquitetura de um sistema embarcado



Fonte: <http://goo.gl/cPW8rH>

Para Bolton (2008), o termo Sistema Embarcado é usado onde microcontroladores são embutidos em sistemas. Segundo este autor, são exemplos de Sistemas Embarcados as câmeras de foco automático, filmadoras, telefones celulares, aparelhos de DVD, leitores de cartão eletrônico e fotocopiadoras entre outros. Nesses exemplos citados, é possível perceber que são aparelhos projetados com funções claramente específicas, alguns exemplos de sistemas embarcados podem ser vistos na figura 2.

Figura 2 – Exemplos de sistemas embarcados



Fonte: <http://goo.gl/XEy94a>

2.3 Microcontroladores

Microcontroladores são pastilhas inteligentes, que tem um processador, pinos de entrada/saída e memória. Por meio da programação dos microcontroladores pode-se controlar suas saídas, tendo como referência as entradas ou um programa interno.(MARTINS, 2005).

Para Ferreira (1998), um Microcontrolador é fundamentalmente um componente que integra os três blocos principais na arquitetura de um computador: CPU, memória e E/S. O autor também afirma que o aspecto mais importante dos microcontroladores é a flexibilidade para satisfazer aplicações com requisitos muito variados (diversos tipos de entradas e saídas, periféricos de comunicação incorporados, etc.), usando para o efeito um número mínimo de componentes adicionais.

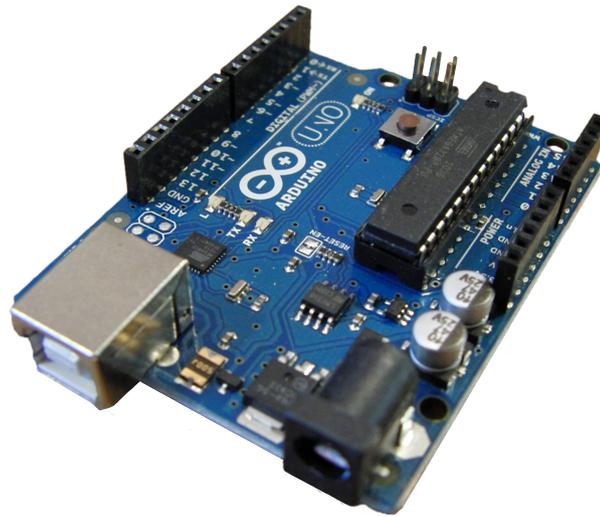
Tokheim (2013) define os limites do uso de microcontroladores, afirmando que eles não podem ser utilizados da mesma forma que os computadores de uso geral. Singh (2008) afirma que antes de selecionar um determinado dispositivo para uma aplicação, é importante entender quais são as diferentes opções, as suas características e o que elas significam em consideração ao desenvolvimento da aplicação. No trabalho de Magalhães (2008), algumas das principais características ao utilizar e escolher um microcontrolador são:

- Baixo custo;
- Facilidade de programação;
- Grande diversidade de periféricos;
- Excelente velocidade de execução;

2.3.1 Plataforma arduino

A família Arduino é baseada no microcontrolador Atmega e é programável através de uma linguagem de programação própria desenvolvida a partir da linguagem C/C++. Como citado anteriormente, uma vantagem da comunidade desenvolvida ao redor da plataforma Arduino é a grande quantidade de projetos e seus códigos de aplicação, que permitem que qualquer pessoa possa modificá-los e ampliá-los de acordo com as suas necessidades. Na imagem 3 é ilustrado o microcontrolador Arduino UNO.

Figura 3 – Arduino UNO



Fonte: <http://goo.gl/86ZkR8>

Em sua pesquisa, DAusilio (2012) explica que existem várias placas microcontroladoras com características semelhantes, mas com programação complicada e que requerem do usuário um determinado nível de experiência em eletrônica. Entretanto, segundo o autor as placas Arduino oferecem uma vantagem crítica: a filosofia open-source (hardware e software), que facilitou o desenvolvimento de uma comunidade massiva de non-experts que floresceu ao redor do conceito de Arduino.

2.4 Sensores

De acordo com Moraes e Castrucci (2007), sensores são dispositivos amplamente utilizados na automação que transformam variáveis físicas, como posição, velocidade, temperatura, nível, pH etc., em variáveis convenientes. O autor também enfatiza que para a automação o principal objetivo é comandar eventos, como a chegada de um objeto a uma posição, um nível de um líquido a um valor entre outros. Para esses tipos de sensores as saídas são do tipo 0-1, “on” - ”off”, isto é, binárias. Em adição, Thomazini e Albuquerque (2007) explicam que nem sempre um sensor tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema, sendo assim, o sinal deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle, para a produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador. Existe uma grande quantidade de sensores no mercado, capazes de medir as mais diversas variáveis.

Figura 4 – Sensores diversos

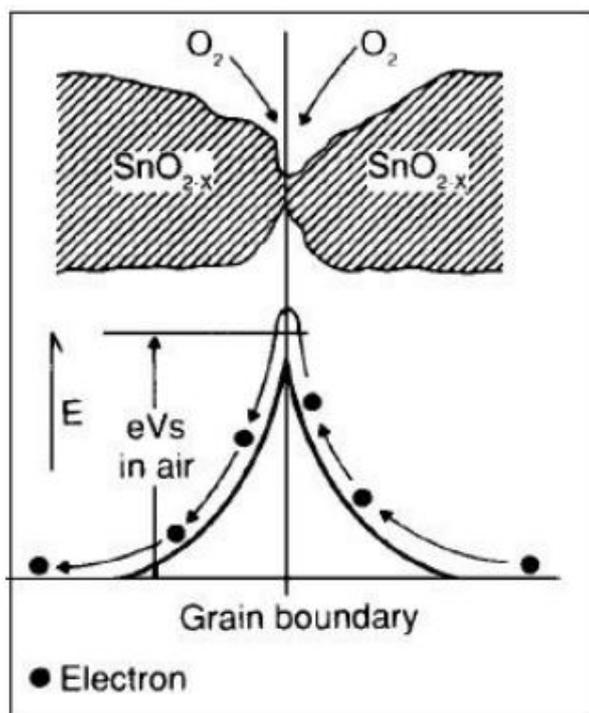


Fonte: <http://goo.gl/pn6Fvf>

2.4.1 Sensores de estado sólido para gases inflamáveis

O princípio de funcionamento destes sensores traduz-se no efeito que tem a presença de gases sobre a condutividade apresentada num óxido metálico, submetido a condições específicas de temperatura. Tipicamente se emprega nos sensores abordados o SnO_2 , que quando aquecido a uma temperatura específica absorve oxigênio na superfície cristalina do oxido metálico (FONSECA, 2013). Isso resulta na geração de cargas positivas, conforme ilustrado na figura 5:

Figura 5 – Representação da barreira potencial na ausência de gases inflamáveis

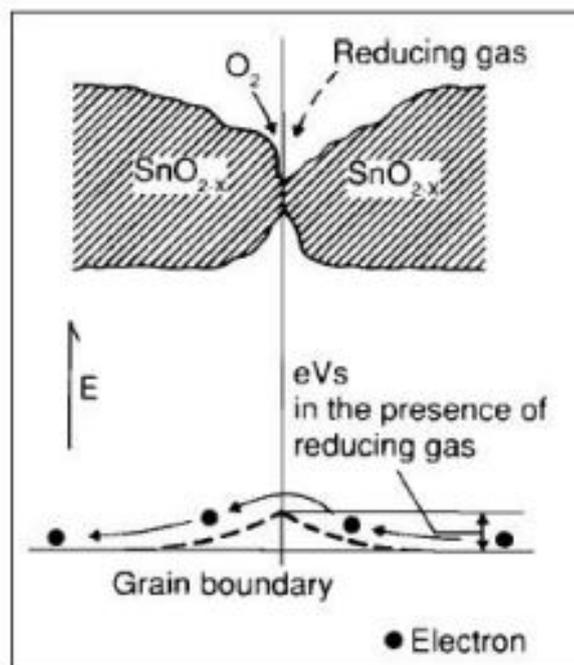


Fonte: <http://goo.gl/zb4G1Q>

A partir do instante em que gases interagem com o oxigênio, esses agem como agentes

antioxidantes que reduzem a barreira de potencial do sensor. Esse funcionamento pode ser visto na figura 6:

Figura 6 – Representação da barreira potencial na presença de gases inflamáveis



Fonte: <http://goo.gl/zb4G1Q>

2.5 Comunicação sem fio

Atualmente existe uma série de protocolos de comunicação sem fio, que se diferenciam pelas tecnologias utilizadas e seus propósitos. Abaixo é mostrada uma tabela com alguns dos principais módulos de comunicação sem fio e suas principais características:

Tabela 1 – Tabela de comparação entre métodos de comunicação sem fio

| Modelo | Protocolo | Frequência | Potência | Sensibilidade | Alcance |
|----------------------------|---------------|--|---------------|---------------|----------|
| Xbee 802.15.4 Pro | 802.15.4 | 2.4GHz | 100mW | -100dBm | 7000m |
| Xbee ZB-Pro | ZigBee Pro | 2.4GHz | 50mW | -102dBm | 7000m |
| Xbee-868 | RF | 868MHz | 315mW | -112dBm | 12km |
| Xbee-900 | RF | 900MHz | 50mW | -100dBm | 10km |
| LoRa | RF | 868 900MHz | 14dBm | -137dBm | 22km |
| WiFi | 802.11b/g | 2.4GHz | 0dBm - 12dBm | -83dBm | 50m-500m |
| GPRS Pro | - | 850MHz | 2W(Class4) | -109dBm | - Km - |
| GPRS+GPS | | 900MHz | 850MHz | | |
| | | 1800MHz | 900MHz | | |
| | | 1900MHz | 1W(Class1) | | |
| 3G | - | Tri-Band UMTS 2100/1900/ 900 MHz | UMTS 900/1900 | -106dBm | - Km - |
| | | | 2100 0,25W | | |
| | | Quad-Band GSM-EDGE 850/900/ 1800/1900 MHz | GSM 850MHz | | |
| | | | 900MHz | | |
| | | | 2W | | |
| | | | DCS 1800MHz | | |
| GPRS | | | PCS1900MHz | | |
| | | | | | |
| Bluetooth Low Energy | Bluetooth | 2.4GHz | 3dBm | -103dBm | 100m |

Fonte: <http://goo.gl/UI2xLV>

2.5.1 Protocolo zigbee

O ZigBee começou no ano de 2002 com o crescente número de soluções oferecidas no mercado das redes sem fios. A especificação ZigBee define as camadas de rede e aplicação e o serviço de segurança entre elas. A definição das camadas física e de acesso ao meio é da responsabilidade da norma IEEE 802.15.4. (MALAFAYA; TOMÁS; SOUSA, 2005)

Nas redes zigbee, existem três classes de dispositivos que podem interagir entre si: *coordinator*, *router* e *end point*. As duas primeiras classes, *coordinator* e *end point* são dispositivos de funcionamento completo de tipologia FFD (*Full Function Device*), definida na norma IEEE 802.15.4 enquanto o *end point* é um dispositivo com funções mais limitadas RFD (*Reduced Function Device*). Na tabela 2 abaixo são descritas as principais características dos dispositivos mencionados acima:

Tabela 2 – Dispositivos de rede zigbee

| Dispositivo | Tipo de dispositivo físico associado | Função |
|-------------|--------------------------------------|--|
| Coordinator | FFD | Forma a rede, atribui endereços, suporta binding table. Existe apenas um por rede. |
| Router | FFD | Permite que mais nós se juntem à rede, ao aumentar o seu alcance físico. Pode também efetuar funções de controle ou monitorização. É opcional. |
| Endpoint | RFD | Efetua ação de controle ou monitorização por meio de dispositivo associado (sensor, controlador, atuador e etc) |

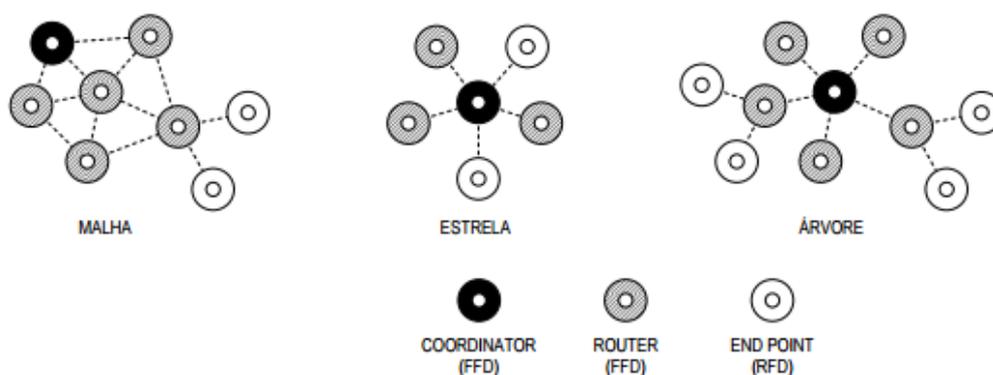
Fonte: (SILVA, 2007)

Segundo Silva (2007), as tipologias utilizadas nas redes zigbee são descritas a seguir:

- **Malha:** Numa topologia em malha os dispositivos do tipo FFD (Coordinator/Routers) são livres de comunicar com outro dispositivo FFD. Isto permite, quando necessária, a expansão física da rede (maior alcance). O coordinator regista toda a entrada e saída de dispositivos, mas não assume um papel tão preponderante em termos de fluxo de informação como na configuração anterior.
- **Estrela:** Ao coordinator que cabe todo o controle da rede, assumindo este um papel central e de comunicação directa com todos os dispositivos Endpoint – é portanto o Coordinator que inicia e mantém os dispositivos na rede. Toda a informação em circulação na rede passa pelo nó Coordinator.
- **Árvore:** Apresentando semelhanças à rede em malha, também são usados dispositivos Router. No entanto, nesta topologia efectua-se a distribuição de dados e mensagens de controlo numa estrutura hierárquica, onde o Coordinator assume o papel de nó “nuclear” da rede.

Na figura 7 são ilustradas as topologias descritas:

Figura 7 – Topologias das redes Zigbee

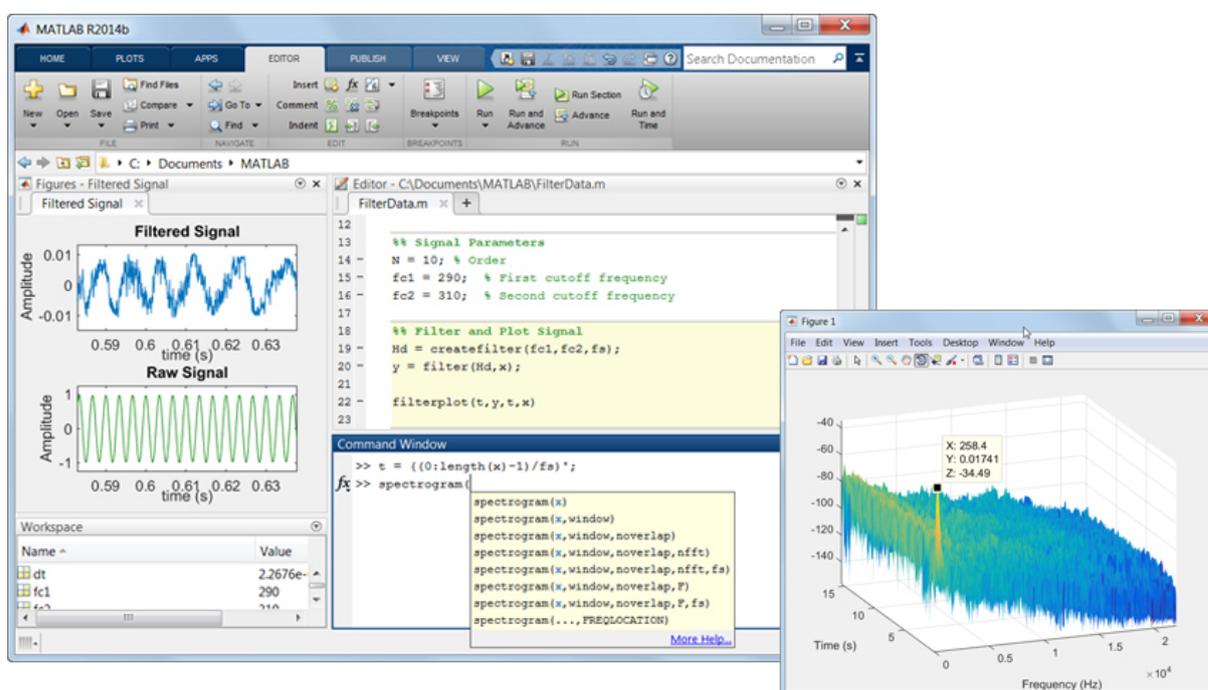


Fonte: (MALAFAYA; TOMÁS; SOUSA, 2005)

2.6 Matlab®

Matlab® é uma linguagem de alto nível e ambiente interativo para computação numérica, visualização e programação. Usando o Matlab®, é possível analisar dados, desenvolver algoritmos, e criar modelos e aplicações. A linguagem, ferramentas, e funções matemáticas embutidas permitem explorar múltiplas abordagens e alcançar a solução mais rapidamente do que com planilhas ou linguagens de programação tradicionais, como C/C++ ou Java®. Matlab® pode ser usado para uma gama de aplicações, incluindo processamento de sinais, sistemas de controle, testes e medição, finança computacional, e biologia computacional. (MATHWORKS, 2015). A interface do Matlab® permite a visualização em tempo real de algoritmos, gráficos e janelas de comando, ao mesmo tempo, como pode ser visto na figura 8.

Figura 8 – Exemplo de interface gráfica em Matlab®



Fonte: (MATHWORKS, 2015)

O Matlab® é uma ferramenta usada em todo o mundo, seja no meio acadêmico ou industrial. É um programa que permite a simulação de aplicações robustas ao mesmo tempo que pode ser programado em alto nível, o que facilita sua utilização.

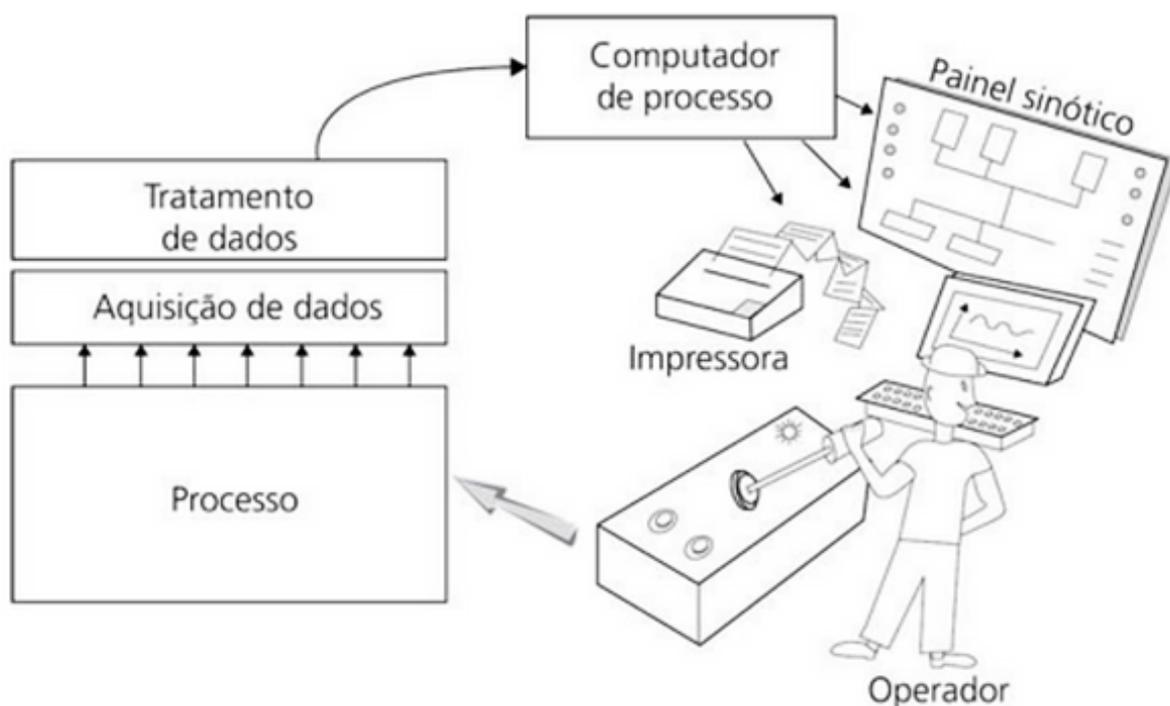
2.7 Sistemas supervisórios

Sistemas Supervisórios tem a finalidade de levar informações para quem opera o processo para permitir uma visão macro e uma compreensão completa sobre todo o sistema, de forma que as melhores decisões possam ser tomadas para o bom funcionamento do mesmo, segundo a visão de Spínola e Pessoa (2014). O autor também ressalta que um alarme é

disparado quando ocorre uma anomalia, utilizando-se de filtros para identificar a origem do problema.

Como caracteriza Moraes e Castrucci (2007), Sistemas Supervisórios se tratam de sistemas digitais de monitoração e operação de planta que gerenciam variáveis de processo. Estas variáveis são atualizadas continuamente e podem ser armazenadas em um banco de dados para se ter um registro histórico. Em adição a estes conceitos, Branquinho, Branquinho e Junior (2014) especifica que o processo de monitoração, aquisição e coleta de informação é automatizado, assim é possível monitorar ambientes complexos que possam estar geograficamente dispersos por meio de monitores dispostos em uma sala de controle, conforme ilustrado na figura 9:

Figura 9 – Exemplo de Sistema Supervisório



Fonte: (SPINOLA; PESSOA, 2014)

Dessa forma, tem-se que a criação de uma interface de monitoramento atuaria de maneira similar aos monitores que são utilizados para a visualização das informações, conforme os objetivos propostos na introdução deste trabalho.

2.8 Transporte de produtos perigosos

Segundo define a Agência Nacional de Transportes Terrestres (2012), produto perigoso é todo aquele que representa risco à saúde das pessoas, ao meio ambiente ou à segurança pública, seja ele encontrado na natureza ou produzido por qualquer processo. Ainda segundo a mesma, expedições contendo produtos perigosos devem atender todas as prescrições contidas na regulamentação referentes às adequações, documentações e outros. Para a

mesma, o perigo associado à certa substância pode ser avaliado em função da sua composição química. Enquanto o risco é obtido considerando a forma como o perigo da substância relaciona-se com outro fator que pode ser: exposição, transporte, contato e etc. Quando se trata de transporte, a classificação é dada em função do perigo associado à substância e da influência com as atividades englobadas em uma operação de movimentação.

2.9 Limites de inflamabilidade de gases

Os limites de inflamabilidade inferior (LII) e superior (LSI) correspondem respectivamente às frações volumétricas (ou percentual em volume) mínimas e máximas de combustível em uma mistura comburentes que quando submetida a uma fonte de ignição provoca uma combustão auto-sustentada. (GLASSMAN, 2001)

Segundo Vivas (2012), as equações para a obtenção dos limites de inflamabilidade inferior e superior pelo método de Le Chatelier são expostas abaixo na figura 10:

Figura 10 – Equações para cálculo do LII e LSI

$$LII_m = \left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{LII_i} \right)^{-1}$$

$$LSI_m = \left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{LSI_i} \right)^{-1}$$

Fonte: (VIVAS, 2012)

Nas equações acima, n é o número de espécies combustíveis, enquanto o subscrito i e m denotam propriedades dos combustíveis puros e da mistura, respectivamente. x_i representa a fração volumétrica do constituinte i . (VIVAS, 2012)

Para auxiliar nos métodos de detecção de gás utilizados neste trabalho, também foi utilizada a tabela 3 com os principais gases monitorados pelo sistema embarcado:

Tabela 3 – Limites de Inflamabilidade de gases combustíveis

| Combustível | LII - % | LSI - % |
|-------------|---------|---------|
| GLP | 4,5 | 15 |
| Butano | 1,8 | 8,4 |
| Propano | 2,1 | 9,5 |
| Metano | 5 | 15 |

Fonte: <http://goo.gl/9i4QtC>

O limite de inflamabilidade inferior é utilizado para identificar a mínima concentração necessária para que ocorra a ignição do gás. Dessa forma, o sistema supervisor será programado para gerar os avisos de alarme antes que a concentração na atmosfera atinja esse valor mínimo de LII.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

No campo de desenvolvimento de sistemas embarcados para monitoramento remoto de variáveis existem outros autores que desenvolveram trabalhos com propósitos semelhantes ao deste projeto. De forma geral, esses autores primeiro definem a estrutura básica de seus sistemas, escolhem as variáveis que serão monitoradas de acordo com o escopo de seus projetos, verificam o melhor método de comunicação sem fio e por fim fazem testes para a comprovação dos sistemas desenvolvidos.

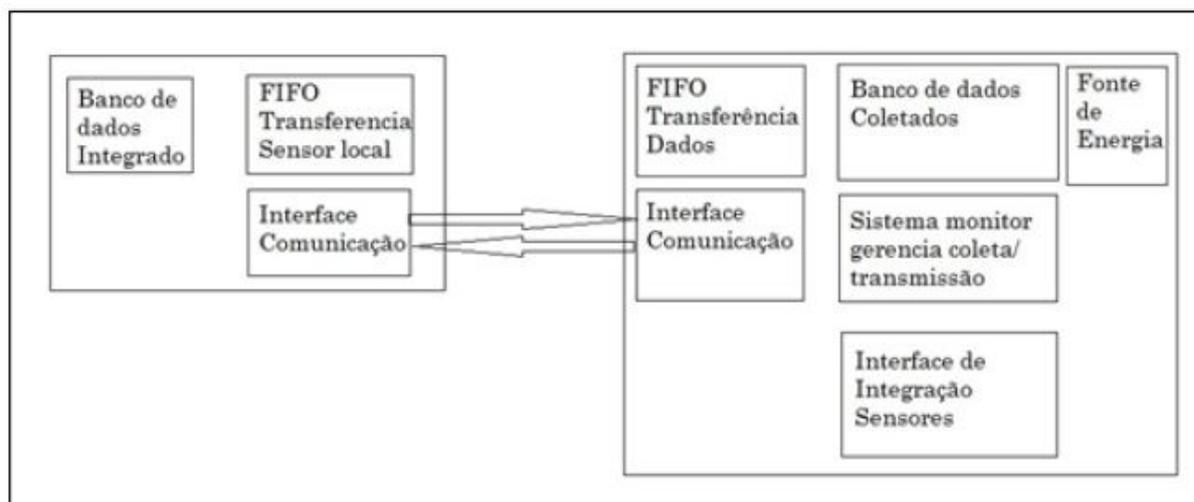
3.1 Emprego de rede modular automatizada remota de plataformas de monitoramento da presença de metano, dióxido de enxofre e monóxido de carbono

Neste trabalho Fonseca (2013) propõe a criação de uma rede de plataformas para o monitoramento remoto de contaminantes específicos no meio ambiente. Para isso, o mesmo define que os principais requisitos para essas plataformas sejam a coleta de dados e a capacidade de armazenamento, para que se possa ter uma operação de forma contínua e autônoma. Vale notar que o termo "plataforma de monitoramento" utilizado pelo autor se refere aos sistemas embarcados desenvolvidos para a aplicação do trabalho.

O autor desenvolve sistemas matemáticos ambientais para a partir dos dados de concentração de contaminantes, temperatura e humidade. E desenvolve um sistema embarcado para aquisição de dados com sensores de estado sólido, comunicação sem fio, e rede de coleta de dados para a transferência contínua das informações e sem necessidade de intervenção humana em campo.

A estrutura física proposta por Fonseca (2013) consiste basicamente no sistema embarcado para coleta de dados, na transmissão sem fio dessas informações e um banco de dados para o armazenamento desses elementos. Ela pode ser vista na figura 11 abaixo:

Figura 11 – Estrutura funcional do protótipo



Fonte: (FONSECA, 2013)

Para a construção desse sistema foram utilizados principalmente os materiais listados abaixo.

Sensores:

- MQ-2 e MQ-7 (Sensores de gás)
- DH-11 (Sensor de temperatura e umidade)

Interfaces:

- Microcontrolador Arduino Mega 2560
- Módulo de rádio frequência RF24L01
- Módulo de cartão SD para Arduino

Softwares:

- IDE Arduino 1.0.3 (Ambiente de desenvolvimento em linguagem C)
- Matlab® R2010a

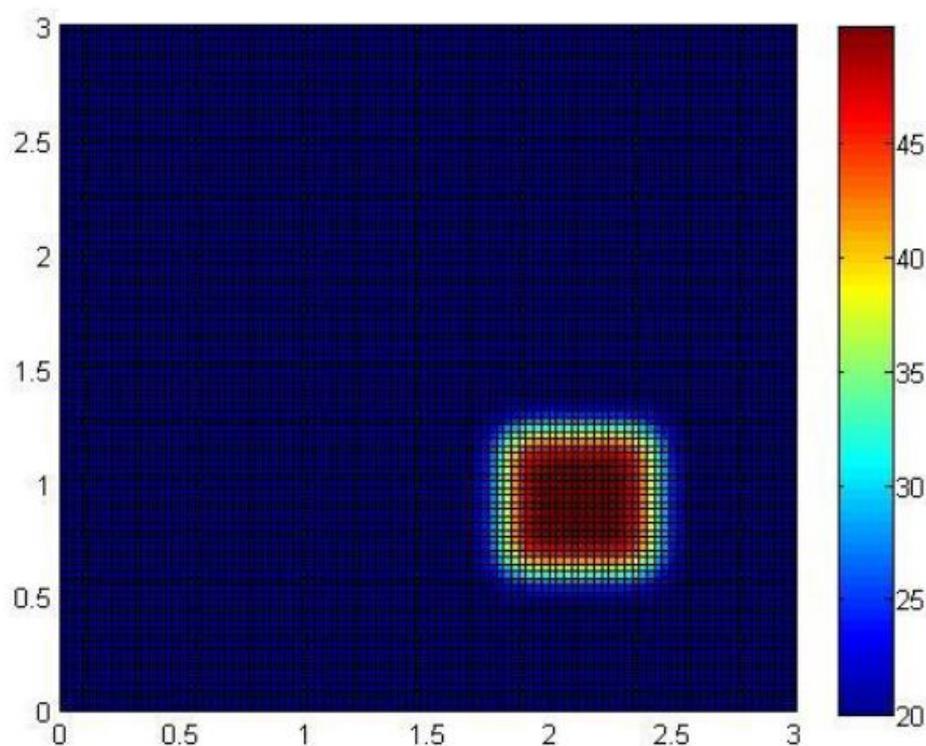
Os protótipos desenvolvidos podem ser vistos na figura 12:

Figura 12 – Protótipos das estações de monitoramento de contaminação ambiental



Fonte: (FONSECA, 2013)

O autor desenvolveu um modelo de advecção/difusão, onde verificou que esse poderia ser usado para monitorar a dispersão de gases contaminantes. O resultado obtido com a simulação pode ser visto na figura 13:

Figura 13 – Simulação de comportamento de difusão com vento $<2\text{m/s}$ e temperatura entre 20 e 50 graus

Fonte: (FONSECA, 2013)

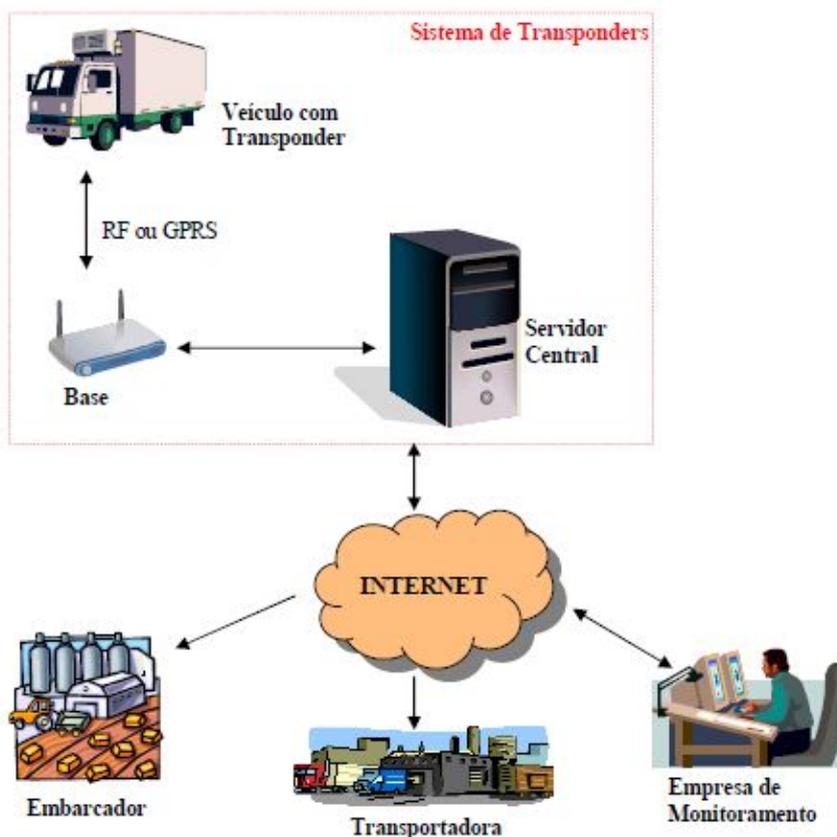
Um sistema de monitoramento de gases contaminantes pode ser empregado em diversos empreendimentos que necessitem de controle e gerenciamento de contaminantes atmosféricos. O trabalho de Fonseca (2013) comprovou a viabilidade técnica da implementação de sensores dedicados ao monitoramento ambiental, entretanto, o autor ressalta que é necessário um modelo de análise de dados em a interação de correntes de ar moderadas e intensas.

3.2 Definição de requisitos para um sistema de monitoramento de veículos no transporte rodoviário de cargas

Em sua tese de mestrado, Kouri (2007) apresenta o levantamento e definição dos requisitos para um sistema de monitoramento de veículos de carga. Para isso utiliza métodos da Engenharia de Requisitos e com os resultados obtidos são utilizados como fonte para especificação do sistema proposto.

Na figura 14 a autora define as interfaces que serão utilizadas no sistema de monitoramento:

Figura 14 – Interfaces de sistema de transponder



Fonte: (KOURI, 2007)

O sistema de monitoramento é composto pelos seguintes equipamentos:

- Transponder - instalado nos veículos.
- Base - instalada em pontos fixos nas rodovias.
- Servidor central - instalado na sede da empresa desenvolvedora do produto.

Para a definição dos requisitos, Kouri (2007) se utiliza dos métodos Volere, Vord e Preview que facilitam a identificação das diversas partes interessadas no sistema, e a coleta e organização das informações. A autora levanta os requisitos das classes de desenvolvedores, cliente e usuário final. Com isso, são definidos os requisitos do sistema: desenvolvimento; funcional; apresentação, usabilidade e fatores humanos; desempenho; operacionais e de ambiente; manutenção e suporte; segurança; culturais e políticos; legais. Foram realizadas reuniões com os representantes dessas partes, onde segundo a autora se observou satisfação dos mesmos com relação ao preenchimento dos requisitos do Sistema de Transponders, e a forma como as atividades de análise e validação destes requisitos foram conduzidas.

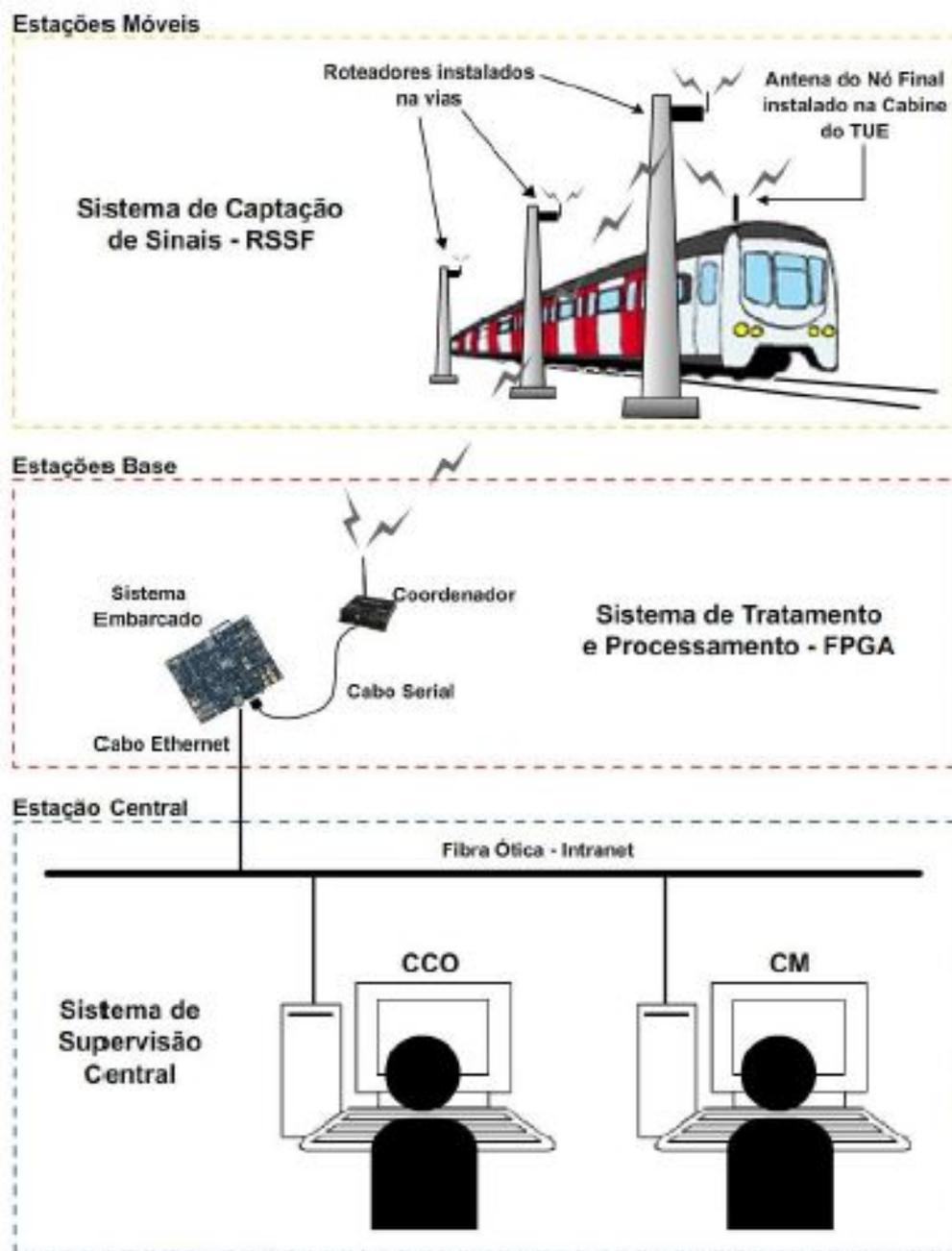
3.3 Sistema telemétrico para monitoramento de trens através de redes de sensores sem fio e processamento em sistema embarcado

Nesta dissertação, Santos (2010) desenvolve um sistema de telemetria com redes de sensores e processamento de dados em sistemas embarcados para monitoramento de veículos metroferroviários. O principal objetivo desse sistema é avaliar fatores que possam afetar a eficiência e o desempenho dos trens, como velocidade e pressão nas bolsas de ar, de forma a gerar informações que possibilitem melhorar estratégias de operação e manutenção.

O modelo proposto pelo autor consiste em em três camadas de estações. A primeira camada, as estações móveis, ficam posicionadas ao longo da linha férrea e servem para receber os dados enviados pelo veículo metroferroviário. Essa camada compõe o “Sistema de Captação de Sinais”. A segunda camada, a estação base, é composta por um sistema embarcado que receberá os dados coletados por meio dos sinais enviados pelas estações móveis. Essa camada compõe o “Sistema de Tratamento e Processamento”. Por fim, os dados coletados na estação base são enviados para a última camada, a estação central, por meio de uma rede cabeada *ethernet*, onde os dados são visualizados pelas interfaces de usuário.

Essas camadas são ilustradas na figura 15:

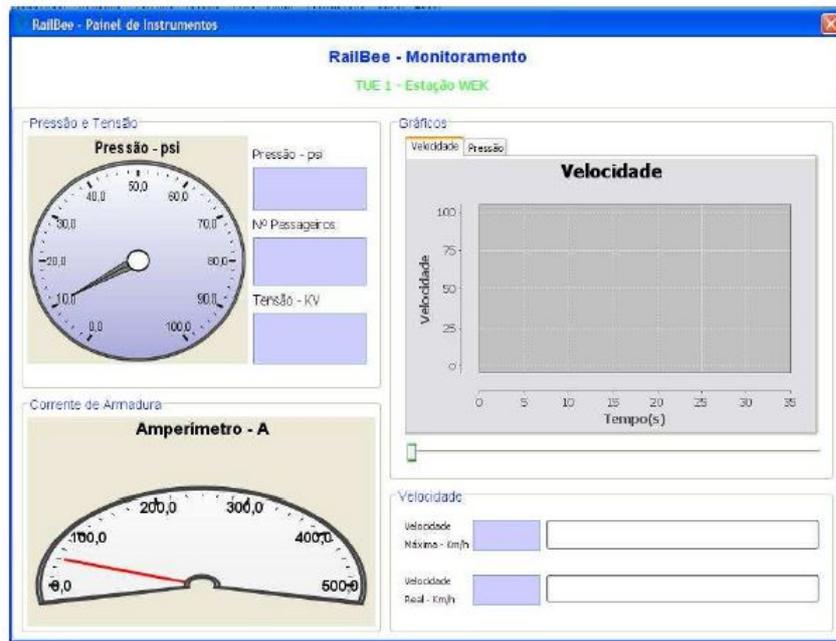
Figura 15 – Visão geral do sistema proposto



Fonte: (SANTOS, 2010)

A interface de monitoramento foi desenvolvida para mostrar de forma simples e intuitiva os elementos de interesse. É possível visualizar os campos referentes à velocidade, pressão e de corrente na figura 16:

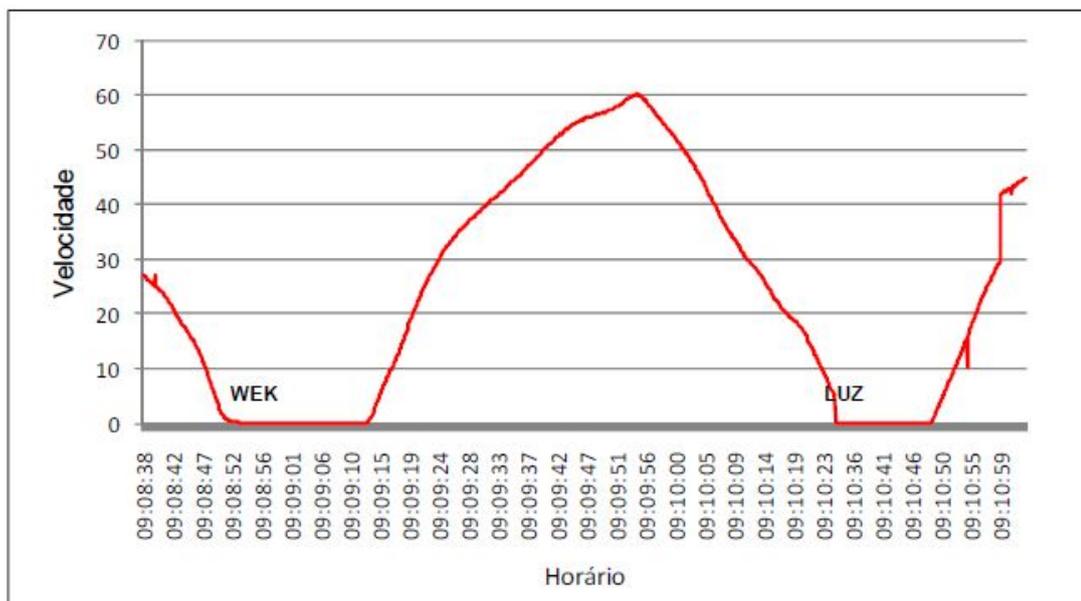
Figura 16 – Interface de monitoramento do sistema



Fonte: (SANTOS, 2010)

Os testes realizados por Santos (2010) foram feitos em um trem real, conforme pode ser visto na figura 17. A velocidade medida varia conforme a situação da locomotiva, que pode estar em aceleração, parada ou em processo de frenagem.

Figura 17 – Gráfico da velocidade medida

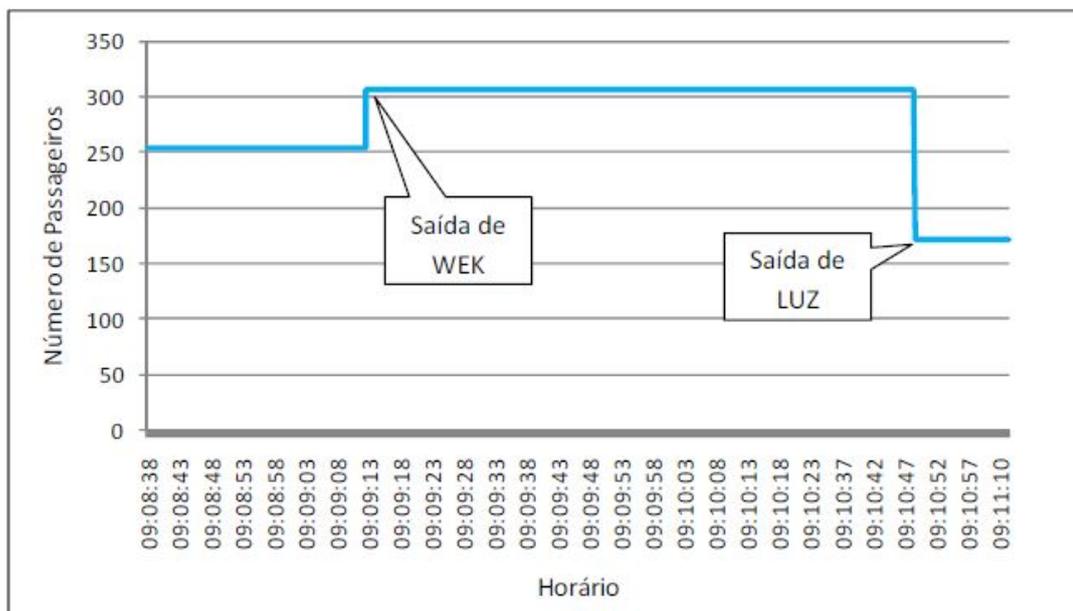


Fonte: (SANTOS, 2010)

Através do sensor de pressão, Santos (2010) utiliza um modelo matemático para estimar a quantidade de pessoas a bordo da locomotiva. Tal estimativa é facilmente vista na figura

18. As variações mostradas se referem às paradas feitas em que ocorreram embarque e desembarque de passageiros.

Figura 18 – Gráfico da quantidade de pessoas

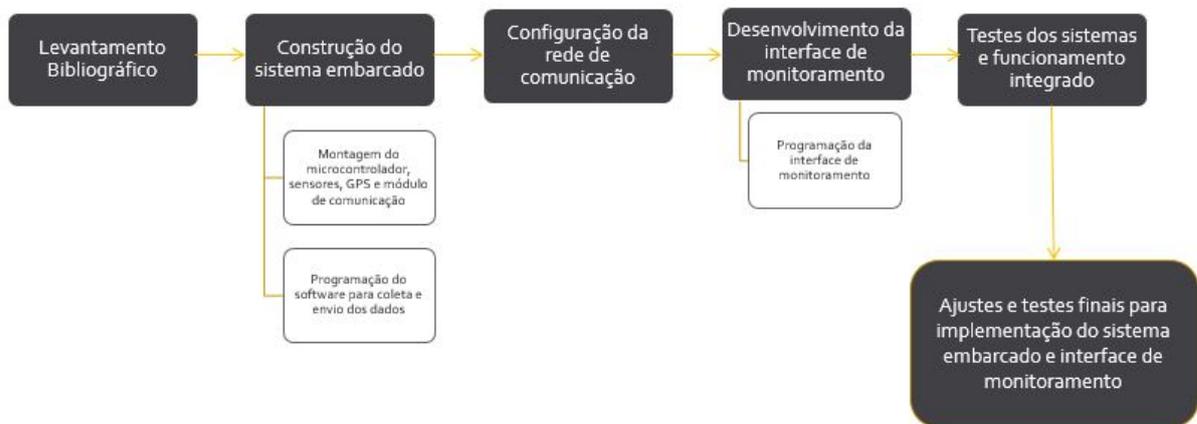


Fonte: (SANTOS, 2010)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será feita uma abordagem sobre a utilização dos componentes envolvidos no desenvolvimento do trabalho. Inicialmente são descritos os principais requisitos do sistema embarcado em aspectos funcionais e não funcionais. Em seguida é ilustrada a estrutura idealizada para o sistema além da listagem de todos os elementos e suas configurações necessárias para funcionamento, estabelecimento da comunicação sem fio e programação da interface de monitoramento. Esses passos podem ser vistos na figura 19 que ilustra a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto.

Figura 19 – Metodologia de desenvolvimento do trabalho

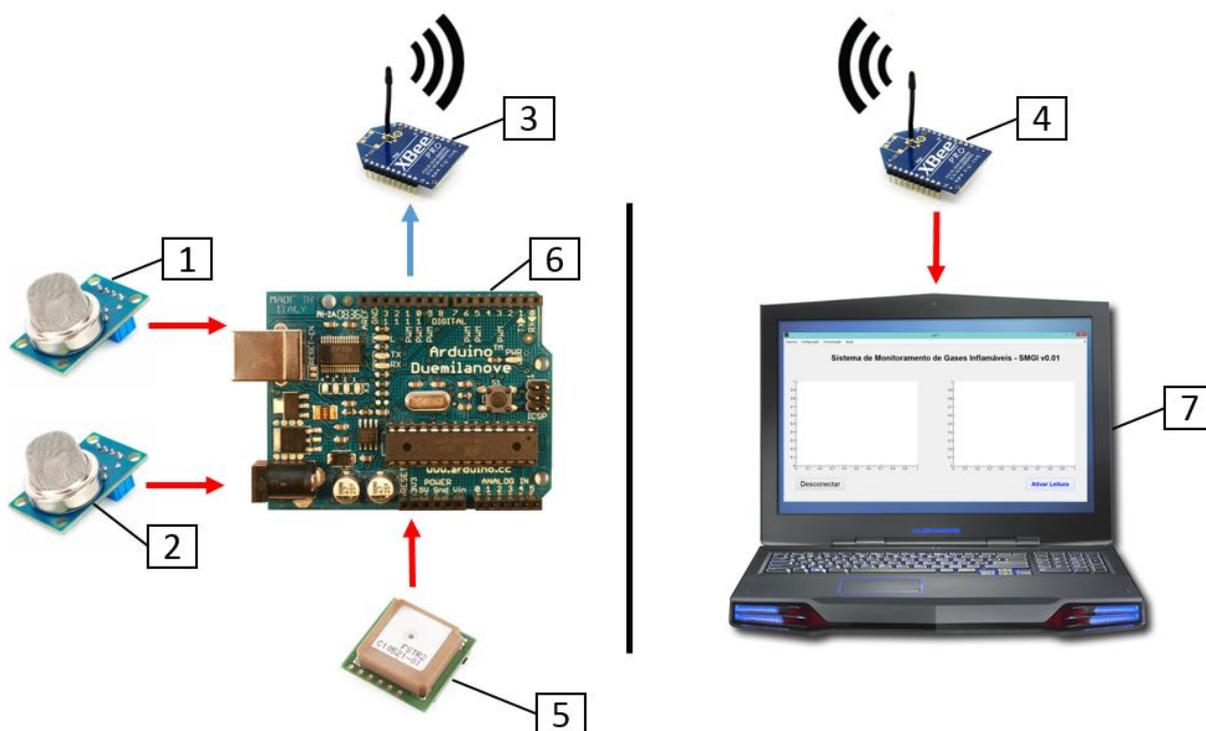


Fonte: Autor

4.1 Implementação do sistema embarcado

Esta seção descreve os requisitos do sistema embarcado e os componentes que integram sua composição física. Ao final são descritos os softwares de suporte utilizados para a programação dos algoritmos de funcionamento da placa microprocessadora e da interface de monitoramento. Na figura 20 são mostrados os componentes utilizados para a implantação do projeto:

Figura 20 – Estrutura de monitoramento de gases



Fonte: Autor

Abaixo são numerados os elementos ilustrados na figura 20:

Item 1: Sensor de concentração de gás MQ-2 que tem sensibilidade aos gases GLP, propano e hidrogênio.

Item 2: Sensor de concentração de gás MQ-4 que tem sensibilidade aos gases metano, butano e propano.

Item 3: Módulo de transmissão XBee PRO 802.15.4 conectado ao Arduino por meio de um XBee Shield para envio dos dados coletados.

Item 4: Módulo de transmissão XBee PRO 802.15.4 conectado ao computador por meio de um explorer para a interface de monitoramento.

Item 5: Módulo GPS UP501 que será usado para a aquisição de dados de localização do sistema embarcado.

Item 6: Microcontrolador Arduino Duemilanove que irá controlar a atuação dos componentes do sistema e o envio dos dados para a interface de monitoramento através do módulo de transmissão.

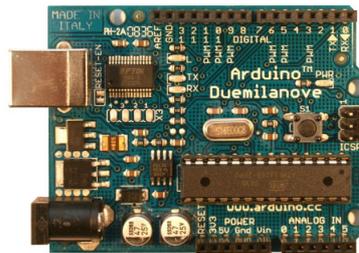
Item 7: Interface de usuário em MATLAB® para a visualização dos dados obtidos remotamente com o monitoramento dos gases inflamáveis e de localização do módulo GPS

4.2 Microcontrolador arduino duemilanove

O microcontrolador Arduino Duemilanove possui um conversor analógico-digital e é baseado no ATmega328. Possui 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser

usados como saídas analógicas PWM - modulação por largura de pulso), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada para alimentação, um cabeçalho ICSP - que permite programar diretamente no chip - e um botão de reset. E seu diferencial é ser desenvolvida e aperfeiçoada por uma comunidade que divulga seus códigos de aplicação, sendo uma placa de concepção open-source, que pode ser vista na figura 21:

Figura 21 – Microcontrolador Arduino Duemilanove



Fonte: <http://goo.gl/WgS5vZ>(ARDUINO, 2015)

Para o desenvolvimento dos algoritmos de controle dos sensores de gás e do módulo GPS, foi utilizada a IDE Arduino, uma interface de programação de simples utilização e que utiliza uma versão modificada da linguagem de programação de alto nível C++. As características técnicas completas do microcontrolador Arduino Duemilanove são descritas na tabela 4:

Tabela 4 – Especificações técnicas Arduino Duemilanove

| Item | Característica |
|---------------------------------|----------------|
| Microprocessador | ATmega168 |
| Tensão de operação | 5V |
| Tensão de entrada (Recomendado) | 7-12V |
| Tensão de entrada (Limites) | 6-20V |
| I/O's Digitais | 14 |
| Entradas analógicas | 6 |
| Corrente DC por I/O | 40 mA |
| Corrente DC pino 3,3V | 50 mA |
| Memória Flash | 16 KB |
| SRAM | 1 KB |
| EEPROM | 512 bytes |
| Velocidade de <i>Clock</i> | 16 MHz |

Fonte: (ARDUINO, 2015)

4.3 Sensores MQ-2 e MQ-4

O material sensitivo dos sensores MQ-2 e MQ-4 é o SnO_2 , que tem baixa condutividade ao ar limpo. Quando exposto ao gás combustível, a condutividade do sensor se torna maior conforme maior for o aumento na concentração de gás em partes por milhão (ppm).

O sensor MQ-2 tem alta sensibilidade aos gases GLP, propano, butano, hidrogênio, álcool, fumaça e também pode ser utilizado para medir as concentrações de metano e outros vapores inflamáveis. Sendo de baixo custo e adequado para diferentes aplicações. O sensor MQ-4 é capaz de detectar os gases metano, propano e butano. A figura 22 ilustra esses sensores:

Figura 22 – Sensor de gás MQ-4



Fonte: <http://goo.gl/T806gz>

Outras características desses sensores são a ampla largura do alcance de detecção, longa duração, baixo custo e fácil utilização, além de serem sensíveis aos gases citados acima.

Esse componente é parte essencial do sistema embarcado pois será responsável pela aquisição de dados da concentração de gases que é a principal variável a ser monitorada. Os sensores MQ-2 e MQ-4 devem ser utilizados em conjunto pois tem maior sensibilidade a tipos diferentes de gases, fazendo com que o sistema possa detectar uma maior variedade de substâncias inflamáveis.

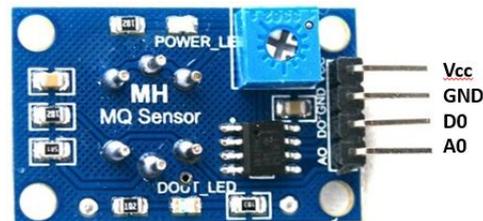
Conforme a figura 23, os sensores MQ-2 e MQ-4 tem quatro pinos que representam a entrada de tensão (Vcc), o terra (GND), a saída digital (D0) e a saída analógica (A0). Segundo a tabela 5 fornecida pelo fabricante Electronics (a), a tensão utilizada no sensor MQ-2 é de 5V. A saída analógica desse sensor retorna um valor em tensão para indicar a concentração de gás em partes por milhão (ppm) detectada no ambiente, esse valor é lido pelo microcontrolador Arduino por meio de um pino que contém um conversor analógico-digital. O valor em tensão é então transformado para um valor numérico que varia entre as faixas de 0 a 1024 unidades.

Tabela 5 – Especificações técnicas sensor MQ-2

| Item | Característica |
|--------------------------|--------------------------|
| Tipo sensor | Semicondutor |
| Gás de detecção | Gás Combustível e fumaça |
| Concentração | 300-10.000 ppm |
| Tensão de <i>loop</i> | <24V DC |
| Tensão de aquecimento | 5V |
| Tempo de pré-aquecimento | 48 horas |

Fonte: (ELECTRONICS, a)

Figura 23 – Pinagem do sensor de gás MQ-2 e MQ-4



Fonte: Autor

Para realizar os testes iniciais de verificação de funcionamento do sensor MQ-2, foi desenvolvido o algoritmo mostrado na figura 24 utilizando a IDE de desenvolvimento Arduino. De forma simples, são definidas as variáveis que realizam a leitura dos dados do sensor. A variável `pin_d0` recebe os dados da saída digital, enquanto a variável `pin_a0` recebe os dados da saída analógica. Para envio dos dados por meio da porta serial é necessário utilizar a função `Serial.begin` para iniciar a porta a uma taxa de dados de 9600 *baud rate*. As funções `digitalRead` e `analogRead` ativam a leitura de dados de ambas as variáveis e os valores lidos são exibidos no monitor da porta serial por meio da função `Serial.print`.

Figura 24 – Algoritmo desenvolvido para teste do sensor MQ-2

```
int pin_d0 = 7;
int pin_a0 = A1;

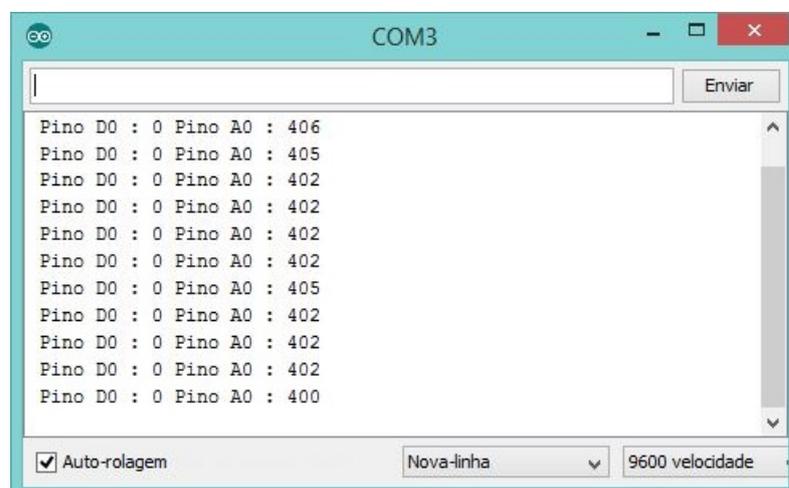
void setup()
{
    // Define os pinos de leitura dos sensores como entrada
    pinMode(pin_d0, INPUT);
    pinMode(pin_a0, INPUT);
    //Inicia o modo serial com velocidade de 9600
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    // Lê os dados dos pinos digitais D0 e D1 dos sensores
    int valor_digital_mq2 = digitalRead(pin_d0);
    // Lê os dados dos pinos analógicos A0 e A1 dos sensores
    int valor_analogico_mq2 = analogRead(pin_a0);
    // Atraso de 1 segundo gerado para facilitar leitura dos dados
    delay(1000);
    // Envio de dados do Sensor MQ-2 GLP, Propano e Hidrogênio
    Serial.print(" Pino D0 : ");
    Serial.print(valor_digital_mq2);
    Serial.print(" Pino A0 : ");
    Serial.println(valor_analogico_mq2);
    delay(100);
}
```

Fonte: Autor

Os resultados obtidos com o teste são mostrados na figura 25. O valores exibidos pela variável Pino A0 representam a concentração de gás medida pelo sensor MQ-2 em um ambiente um ambiente equilibrado. Esses valores variam de 0 a 1023 unidades conforme é detectada a presença de um gás.

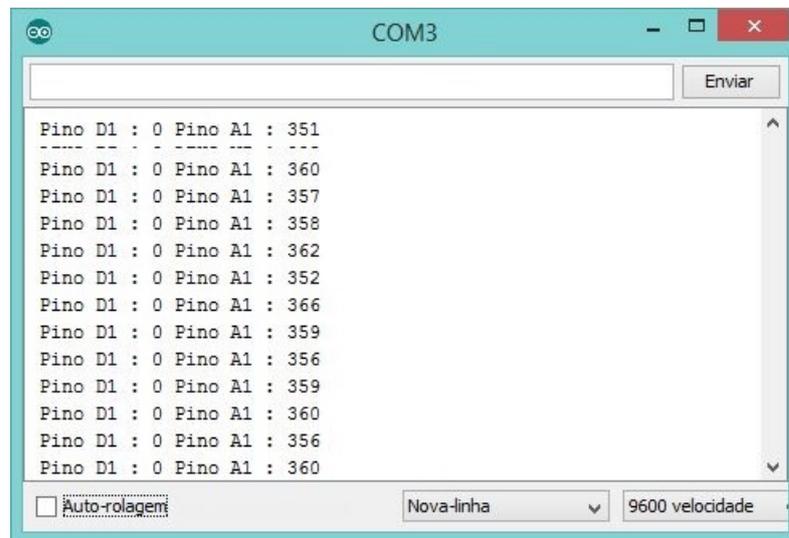
Figura 25 – Resultados obtidos com a leitura do sensor MQ-2



Fonte: Autor

O mesmo teste foi realizado para o sensor MQ-4. Os resultados podem ser vistos na figura 26. Os valores recebidos são diferentes dos obtidos com o sensor MQ-2. Isso se deve ao fato deles terem sensibilidade a gases diferentes, apesar de ambos serem testados em um ambiente equilibrado.

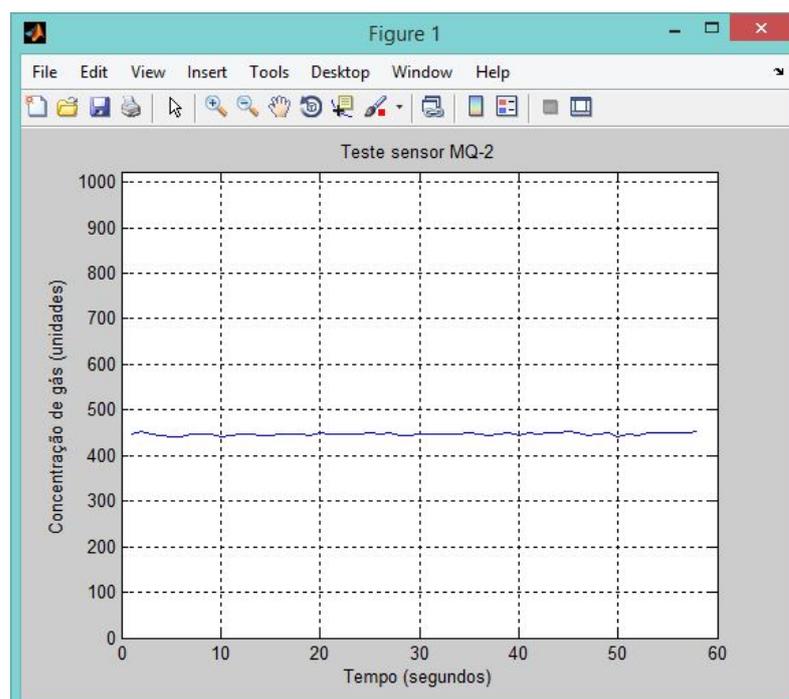
Figura 26 – Resultados obtidos com a leitura do sensor MQ-4



Fonte: Autor

Para facilitar a leitura e o entendimento dos valores obtidos pelo sensor MQ-2, foi desenvolvido um algoritmo em MATLAB para adquirir os dados e plotá-los em forma de gráfico. A figura 27 ilustra esse gráfico.

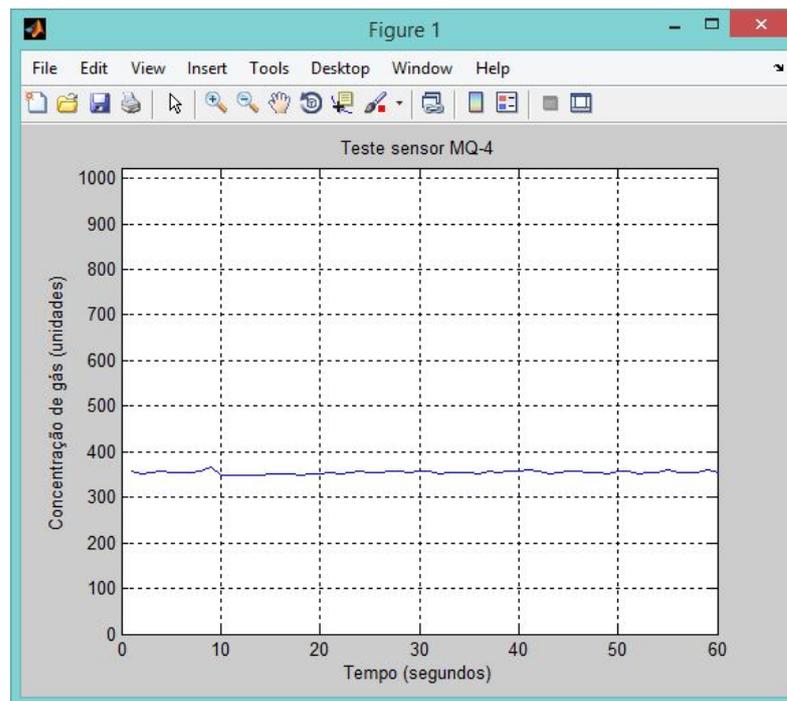
Figura 27 – Gráfico gerado em MATLAB sensor MQ-2



Fonte: Autor

O valores no eixo vertical indicam os valores de concentração de gás obtidos pelos sensor, tais dados são plotados ao longo do tempo, em intervalos de 1 segundo, conforme é mostrado no eixo horizontal. Na figura 28 é possível ver os resultados dos testes feitos para o sensor MQ-4. Verifica-se claramente a diferença de valores obtidos entre os sensores, quando expostos em um ambiente ao ar livre.

Figura 28 – Gráfico gerado em MATLAB sensor MQ-2



Fonte: Autor

4.4 Módulo XBee PRO 802.15.4

Os módulos XBee PRO foram desenvolvidos para obedecer aos padrões IEEE 802.15.4 e dar suporte às necessidades únicas de baixo-custo e de baixo consumo energético das redes de sensores sem fio. Os módulos operam dentro da banda de frequência ISM 2.4GHz e são compatíveis pino-a-pino um ao outro.

Algumas características chave dos módulos XBee PRO são listadas abaixo:

- Interno/Urbano: alcance de até 200 metros
- Externo linha de visão: alcance de até 1600 metros
- Potência de transmissão: 63 mW (18 dBm)
- Sensibilidade do receptor: -100 dBm
- Taxa de dados RF: 250 Kbps

A figura 29 ilustra o módulo XBee que será utilizado neste projeto:

Figura 29 – Módulo XBee PRO 802.15.4



Fonte: (DIGI, 2009)

Dados mais detalhados do módulo Xbee PRO 802.15.4 podem ser analisados na tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – XBee PRO 802.15.4

| XBee PRO - Especificações | |
|---------------------------|--|
| Geral | |
| Frequência de operação | ISM 2.4 GHz |
| Dimensões | 2,438cm x 3,294cm |
| Temperatura de operação | -40 a 85° C |
| Opções de antena | Antena whip integrada, antena PCB embarcada, conector U.FL, conector RPSMA |
| Rede e Segurança | |
| Topologias de rede | Ponto-a-ponto, multiponto e peer-to-peer |
| Número de canais | 12 canais de sequência direta |
| Opções de endereçamento | PAN ID, canais e endereçamento |

Fonte: (DIGI, 2009)

Esse módulo pode operar de três formas:

- Peer-to-peer: Por padrão, o módulo XBee são configurados para operar com a topologia de rede peer-to-peer e por isso não são dependentes na relação mestre-escravo.
- Unicast: Este modo é o único que suporta repetições, módulos receptores enviam um comando ACK (acknowledgement) para o módulo transmissor ao receber um pacote. Caso o transmissor não receba o comando ACK, o pacote é retransmitido até três vezes ou até o comando ser recebido.
- Broadcast: Qualquer módulo dentro do alcance receberá um pacote com um endereço broadcast. Neste modo, os receptores não enviam comandos ACK e transmissores não reenviam pacotes automaticamente, como no modo unicast.

O papel do módulo XBee no sistema embarcado é realizar a transmissão dos dados para o computador onde os mesmos serão processados. Esse módulo tem um alcance de até 1600 metros em campo aberto, que o torna perfeito para aplicações de curto e médio alcance. Dentro deste projeto essa distância é o suficiente para a realização dos testes necessários para testar a viabilidade do sistema de detectar a concentração de gases combustíveis.

Para conectar o primeiro módulo ao microcontrolador Arduino, é necessário utilizar um XBee Shield de modo a facilitar a comunicação e configuração da rede. O XBee Shield utilizado possui espaço para a inserção de um módulo XBee PRO 802.15.4 e é facilmente acoplável ao microcontrolador por meio dos seus pinos, conforme a figura 30:

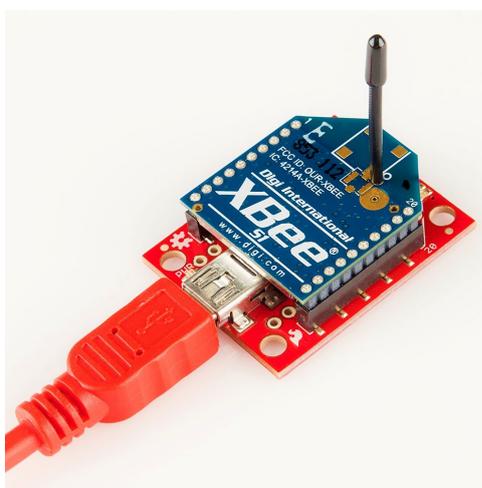
Figura 30 – XBee Shield



Fonte: <http://goo.gl/B2PFoU>

O segundo módulo XBee é conectado ao computador por meio de uma placa explorer, o módulo é acoplado ao explorer e a comunicação é feita por meio de uma cabo USB. Conforme ilustrado na figura 31:

Figura 31 – XBee Explorer



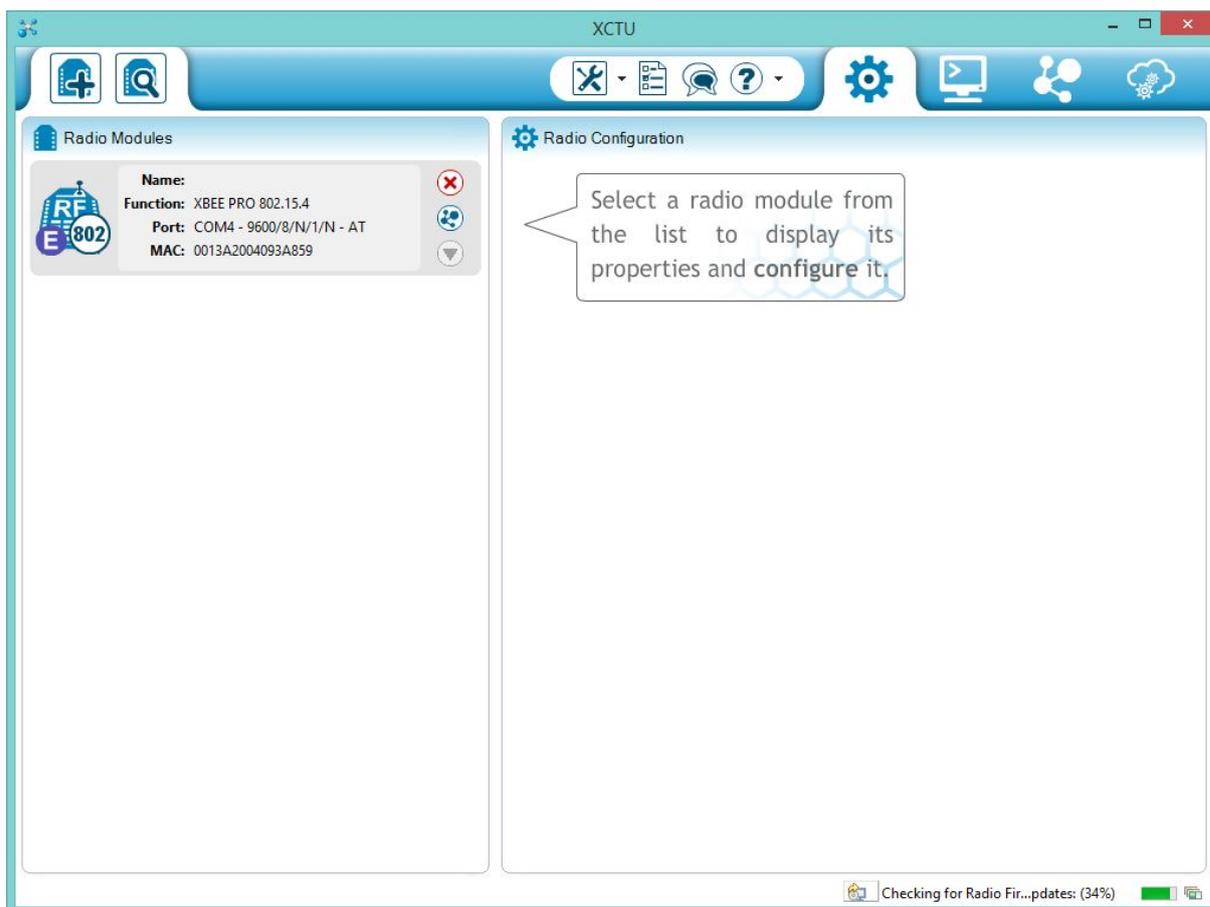
Fonte: <https://goo.gl/makWjD>

Para enviar os dados por meio da comunicação sem fio gerada pelo módulo XBee não é necessário fazer nenhum incremento no algoritmo utilizado. Isso se deve ao fato do módulo

capturar os dados que estão sendo enviados à porta serial com a função *Serial.print* e enviá-los para o outro módulo.

A configuração do módulo XBee é feita utilizando o programa X-CTU fornecido pela fabricante. Sua interface de configuração é mostrada na figura 32. No campo esquerdo é feita a escolha do módulo conectado ao computador, enquanto que no campo direito são vistas as propriedades do módulo selecionado, conforme a figura 33.

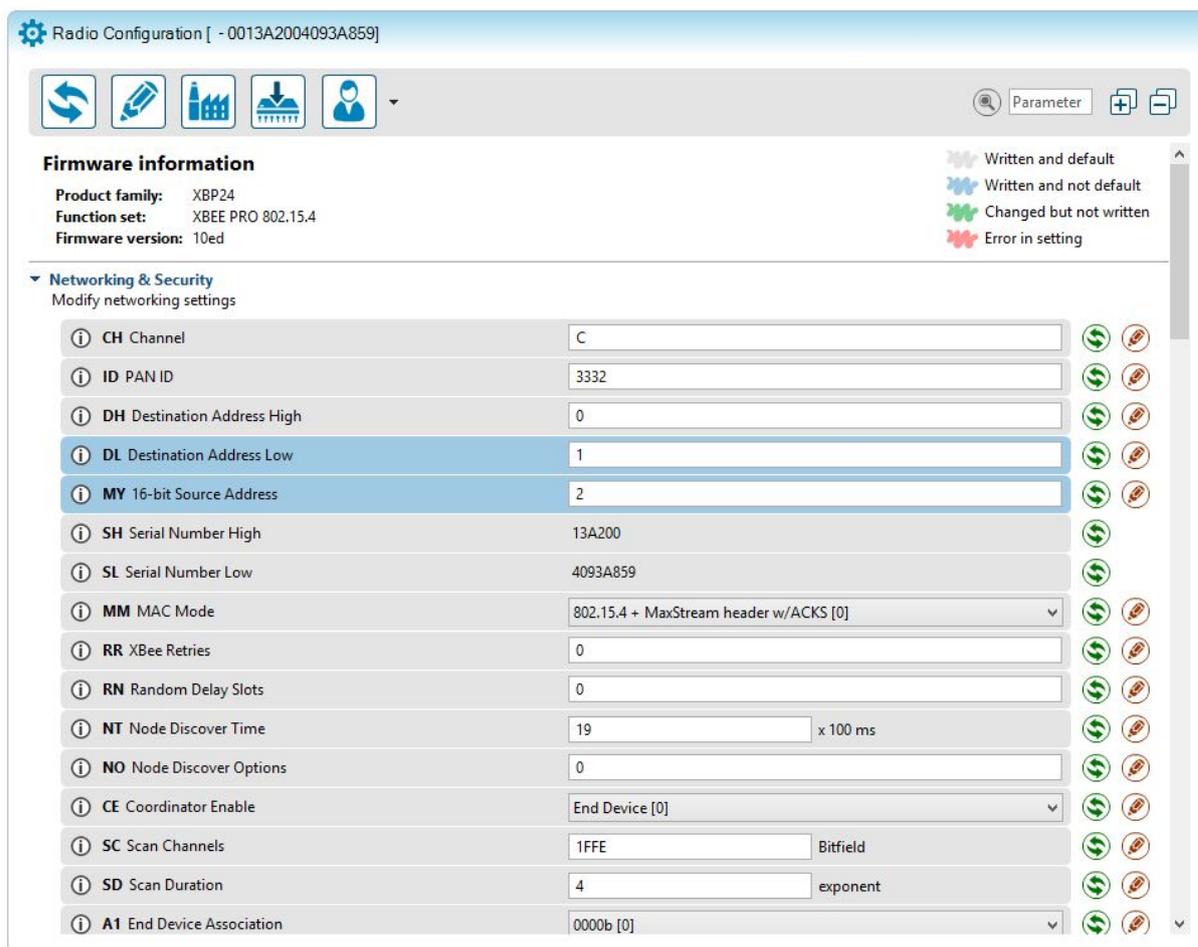
Figura 32 – Interface de configuração X-CTU



Fonte: Autor

Ao conectar o módulo ao computador suas configurações ficarão disponíveis para modificação. Na figura 33 é possível identificar várias informações acerca do dispositivo, família do produto, função configurada, versão do firmware e mais abaixo as configurações de rede e segurança.

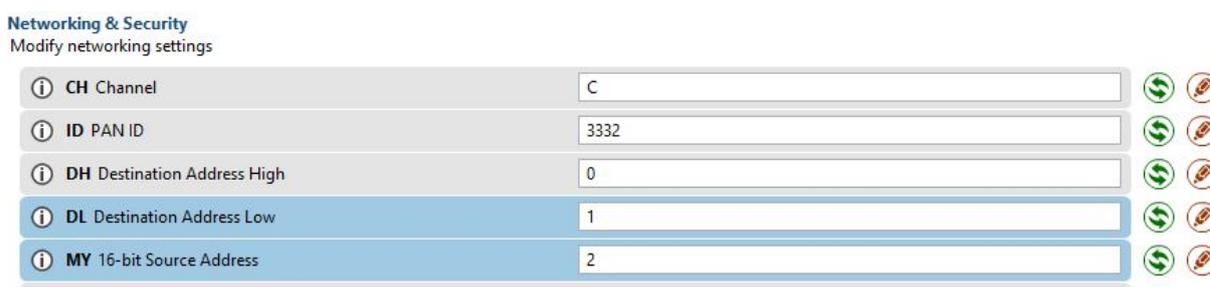
Figura 33 – Configurações do módulo XBee



Fonte: Autor

Para estabelecer uma comunicação entre dois módulos, os principais parâmetros são o *Channel*, *PAN ID*, *Destination Address High*, *Destination Address Low* e *Source Address*, mostrados abaixo na figura 34. O parâmetro channel é utilizado para controlar a frequência de banda com a qual os módulos se comunicam. O parâmetro PAN ID é a identificação de rede, é configurada como sendo um valor hexadecimal entre 0 e 0xFFFF e os módulos apenas podem se comunicar entre si caso estejam na mesma rede. O campo Destination Address determina para qual módulo podem ser enviados dados e o campo Source Address identifica o endereço de cada módulo.

Figura 34 – Principal



Fonte: Autor

Com o intuito de se realizar um teste de comunicação, os módulos utilizados neste projeto foram configurados conforme a tabela 7:

Tabela 7 – Configuração dos módulos XBee

| Configuração | Acrônimo | XBee 1 | XBee 2 |
|--------------------------|----------|--------|--------|
| Channel | CH | C | C |
| PAN ID | ID | 3332 | 3332 |
| Destination Address High | DH | 0 | 0 |
| Destination Address Low | DL | 1 | 2 |
| Source Address | MY | 2 | 1 |

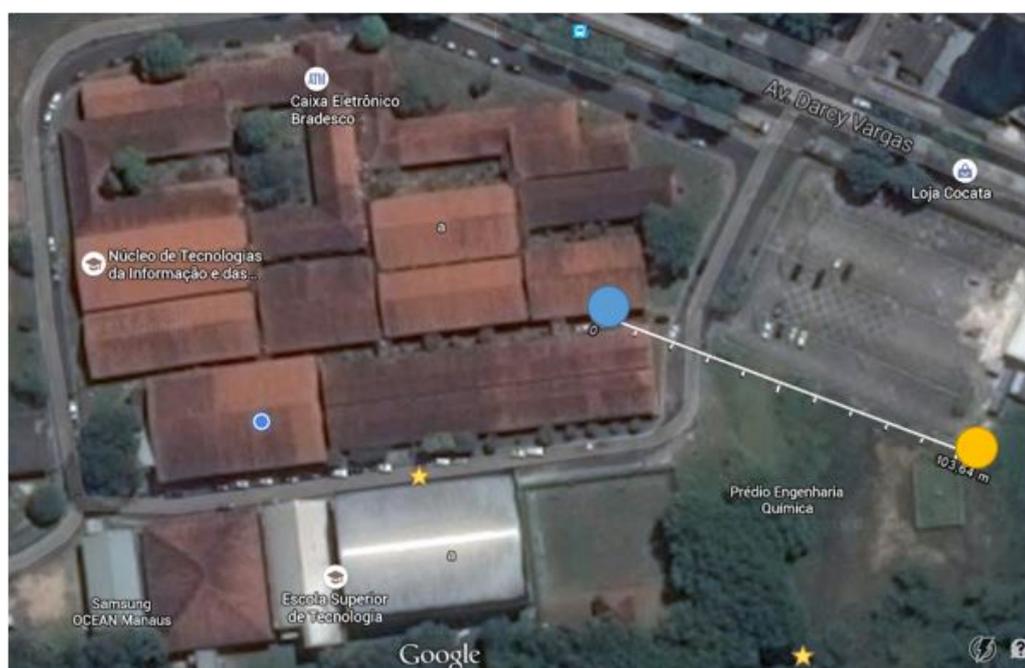
Fonte: Autor

Existem duas categorias de teste de distância que podem ser feitos com os módulos XBee, testes em ambiente interno e externo. Esses testes iniciais foram realizados na dependências da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas.

No ambiente interno o módulo acoplado ao computador foi capaz de receber os dados através de 50 metros de paredes e outros objetos que poderiam criar uma interferência na comunicação.

Para realizar os testes externos foi necessária a alocação do dispositivos em um ambiente sem obstáculos, logo, o local mais apropriado foi o estacionamento da faculdade. O computador com o módulo XBee explorer foi posto no ponto demarcado com o círculo azul, enquanto o sistema embarcado foi posto no círculo em amarelo. Os dados foram recebidos com sucesso e a distância total de comunicação foi de 103,54 metros, que não pode ser aumentada devido ao espaço limitado.

Figura 35 – Mapa demonstrando o teste de distância realizado



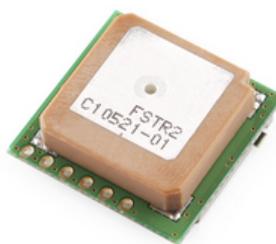
Fonte: <http://www.google.com.br/maps>

4.5 Módulo GPS Fastrax UP501

O módulo Fastrax UP501 é um receptor GPS com uma antena embarcada que permite navegação de alto desempenho nas aplicações mais exigentes e métodos de correção sólidos, mesmo em ambientes com pouco sinal GPS. (FASTRAX, 2010)

Esse módulo tem tamanho compacto, além de ser muito utilizado devido ao seu alto rendimento, como ilustra a figura 36.

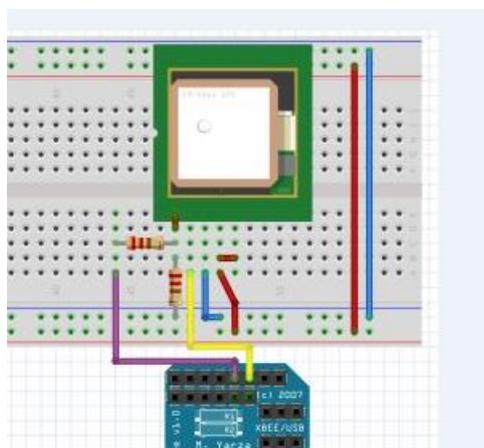
Figura 36 – Módulo GPS Fastrax UP501



Fonte: <http://goo.gl/3z6umx>

Ele necessita de um pequeno circuito para funcionamento, conforme é mostrado na figura 37.

Figura 37 – Circuito de funcionamento módulo GPS Fastrax UP501



Fonte: Autor

Os modos de operação deste módulo são:

- Rastreamento/Navegação: Neste modo o UP501 irá procurar por satélites adicionais e coletar dados de almanaque. Uma vez que ele tenha coletado esses dados (cerca de 12 minutos), será iniciado o modo de rastreamento de baixa potência.
- Rastreamento de baixa potência/Navegação: Neste modo o módulo continua com a ação de navegação, mas não coleta mais os dados de almanaque e por isso tem seu consumo de corrente reduzido.

Tabela 8 – Características técnicas módulo GPS Fastrax UP501

| Item | Característica |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Satélites | 22 em rastreamento, 66 em procura |
| Taxa de atualização | 1 a 10 Hz |
| Acuracidade de posição | 1,8 metros |
| Acuracidade de velocidade | 0,1 metros/segundo |
| Tempo de inicialização | 34 segundos |
| Sensibilidade de aquisição de dados | -145 dBm |
| Sensibilidade de rastreamento | -165 dBm |
| Altitude máxima | 18.000 metros |
| Velocidade máxima | 515 metros/segundo |
| Tensão de operação | 3.0 a 4.2 VDC |
| Corrente de operação | 25 mA |
| Saída | NMEA 0183 |
| Peso | 9 gramas |
| Dimensão | 22mm x 22mm x 8mm |

Suporte a WAAS/EGNOS

Fonte: <http://goo.gl/7eVFZz>

- Backup: Esse modo é ativado quando a tensão de alimentação é desligada. A hora é mantida pelo oscilador RTC. Os dados de efêmeris dos satélites são armazenados em uma RAM de backup com o objetivo de conseguir uma rápida resposta TTFF quando a tensão de alimentação for conectada novamente.

As principais características técnicas do módulo GPS Fastrax são disposto na tabela 8:

Dessa forma, sua principal função será de adquirir os dados de localização do veículo no qual o sistema estará instalado. Esses dados serão visualizados na interface de monitoramento e o usuário terá acesso instantâneo à essas informações.

Para verificar a funcionalidade deste módulo, foi realizado um teste com o algoritmo padrão desenvolvido pelo fabricante, conforme anexo A.

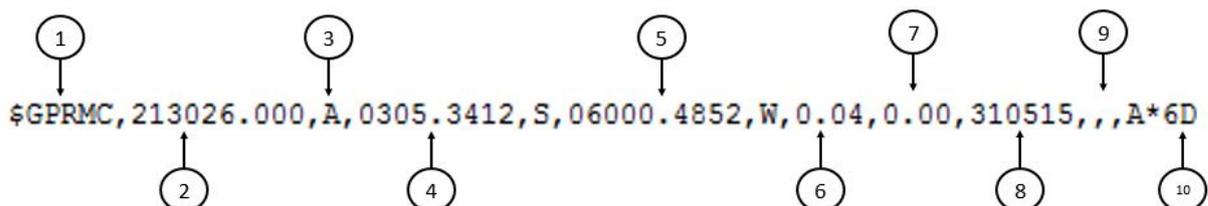
Os dados retornados pelo módulo GPS obedecem ao conjunto de especificações do padrão internacional NMEA. Os resultados gerados com esse teste podem ser vistos na figura 38:

Figura 38 – Circuito de funcionamento módulo GPS Fastrax UP501

Fonte: Autor

O módulo GPS foi configurado para enviar os dados no formato padrão de frase GPRMC, que é utilizado para enviar especificações de posicionamento de forma mínima. Os dados que são enviados por essa frase se referem à hora, alerta de navegação, latitude, longitude, velocidade em relação ao solo, curso, data, variação magnética e checksum. Essas informações podem ser melhor visualizadas na figura 39:

Figura 39 – Formato de frase GPRMC



Fonte: Autor

Abaixo, são descritas as informações de frase assinaladas na figura 39:

1. Formato de frase enviado: GPRMC
2. Hora da aquisição: 213060.000 - 21:30:60

3. Alerta de navegação: A - significa OK
4. Latitude: 0305.3412,S - 3 graus 05.3412 minutos Sul
5. Longitude: 06000.4852,W - 60 graus 0.4852 minutos Leste
6. Velocidade em relação ao solo: 0.04 - 0,04 nós
7. Curso: 0.00
8. Data: 310515 - 31 de Maio de 2015
9. Variação magnética: "vazio" - dado não coletado
10. Checksum

4.6 Módulo cartão SD

Este módulo habilita o microcontrolador a realizar leitura e escrita de dados em um cartão SD. Os pinos são identificados na placa e são suportados os formatos FAT16 e FAT32. Utilizando esse dispositivo, é possível programar os microcontroladores para salvar os dados recolhidos pelos sensores antes de realizar o envio para o coordenador da rede. Dessa forma, caso um dos nós apresente algum tipo de falha em seus módulos de comunicação os dados não serão perdidos e será possível recuperá-los facilmente acessando o cartão SD por meio de um computador.

4.7 Bateria hub 6000 myCharge®

O sistema embarcado proposto neste trabalho foi desenvolvido para ser um dispositivo portátil e de funcionamento remoto. Dessa forma, é necessário adicionar ao sistema uma bateria para que o mesmo possa ter um funcionamento independente de fontes de tensão fixas. Com esse intuito, foi utilizada a bateria Hub 6000 para desempenhar a função de alimentar o sistema embarcado. Na figura 40 é mostrada um modelo dessa bateria:

Tabela 9 – Especificações técnicas bateria Hub 6000 myCharge®

| Item | Especificação |
|------------------------|---------------------------|
| Bateria | 6000 mAh Lítio Íon |
| Dimensões | 63,5mm x 28,7mm x 114,3mm |
| Peso | 172,35 gramas |
| Entrada | 100-240VAC, 50/60 Hz |
| Saída Lightning | 5VDC - 2,1A |
| Saída Micro-USB | 5VDC - 0,5A |
| Saída USB | 5VDC - 1,0A |
| Saída máxima combinada | 3,6A |

Fonte: <http://www.mycharge.com>

Figura 40 – Bateria Hub 6000 myCharge®

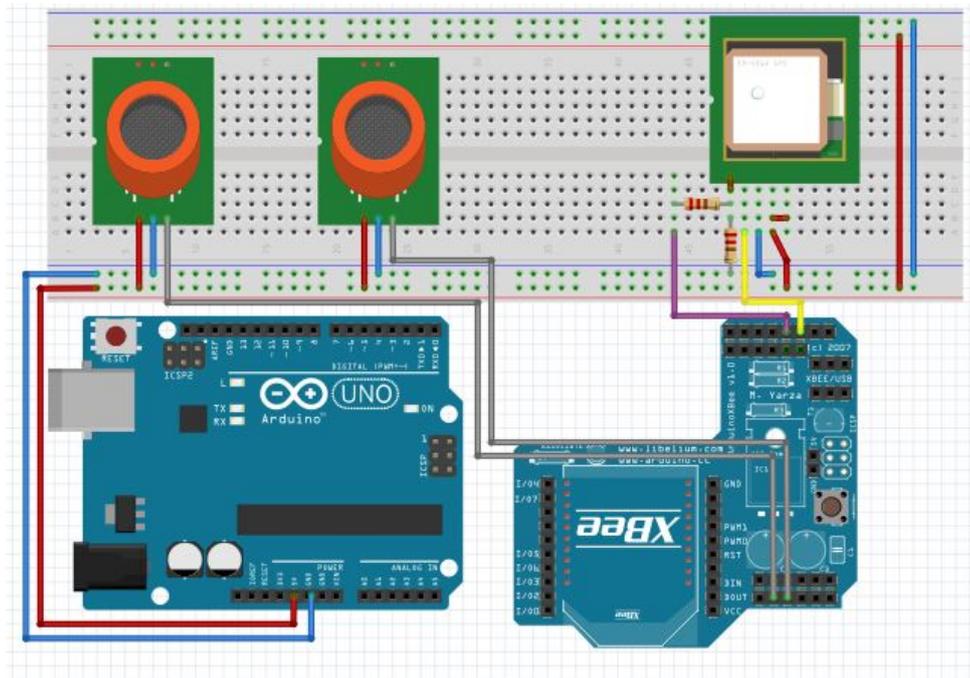
Fonte: <http://www.mycharge.com>

Uma das principais vantagens dessa bateria é sua alta capacidade de carga de 6000 mAh, tamanho e peso reduzidos, além de ter três saídas de tensão. Uma dessas saídas é feita no padrão USB, que a torna ideal para alimentar o microcontrolador Arduino. Por meio dessa saída a bateria é capaz de gerar 5V com uma corrente equivalente a 1A. Mais especificações técnicas são descritas na tabela 9:

4.8 Montagem e construção da estrutura física

Para o desenvolvimento do sistema embarcado torna-se necessário fazer a acoplagem de todos os componentes estudados e testados até o momento. Com esse intuito, foi utilizada a ferramenta de desenho de circuito Fritzing para realizar uma pré-visualização de como

Figura 41 – Desenho esquemático do circuito do sistema embarcado

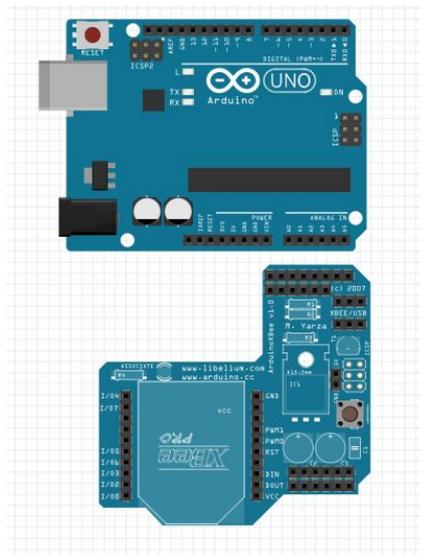


Fonte: Autor

ficaria essa montagem, que pode ser vista na figura 41:

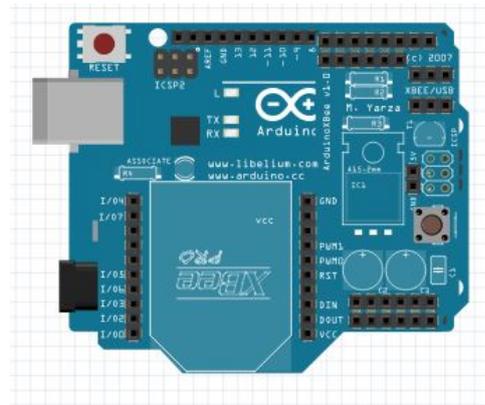
O primeiro passo é acoplar o XBee Shield na parte superior do microcontrolador Arduino, é necessária muita atenção para não errar a colocação dos pinos. A correta montagem pode é mostrada nas figuras 42 e 43abaixo:

Figura 42 – Posicionamento do shield



Fonte: Autor

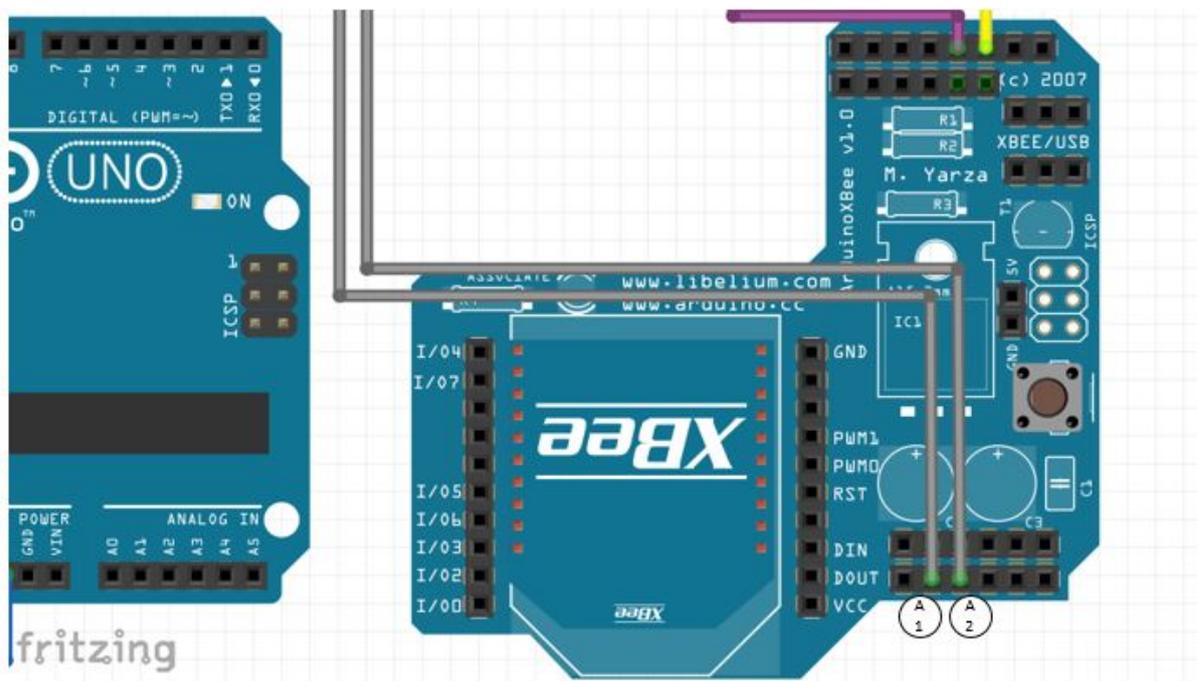
Figura 43 – Posicionamento do shield sobre o microcontrolador



Fonte: Autor

Os sensores de gás MQ-2 e MQ-4 são alimentados por uma tensão de 5V gerada pelo próprio microcontrolador. Eles são dispostos em um protoboard e suas saídas analógicas são conectadas aos conversores analógico-digitais A1 (MQ-2) e A2 (MQ-4) do Arduino. Entretanto, esses pinos são cobertos pelo Xbee Shield, logo, torna-se necessário fazer essas conexões através do mesmo, conforme a figura 44:

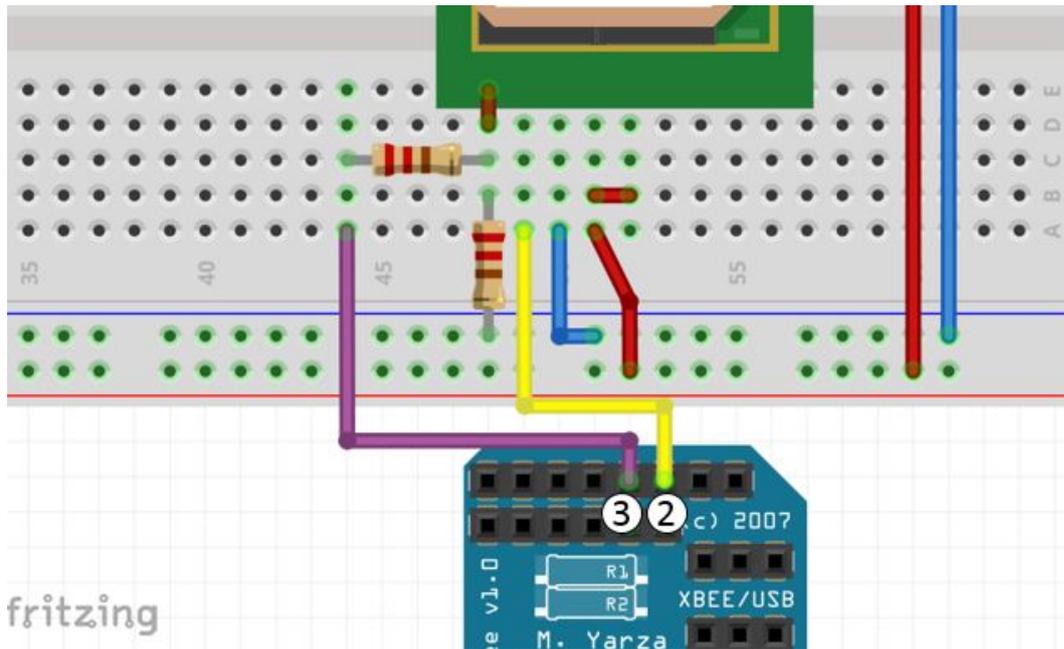
Figura 44 – Conexão dos sensores MQ-2 e MQ-4 ao shield



Fonte: Autor

O módulo GPS utiliza as entradas digitais 2 e 3 do microcontrolador Arduino, e assim como os sensores de gás, tais pinos são cobertos pelo Xbee Shield e as conexões são feitas mais uma vez no mesmo, como é visto na figura tal:

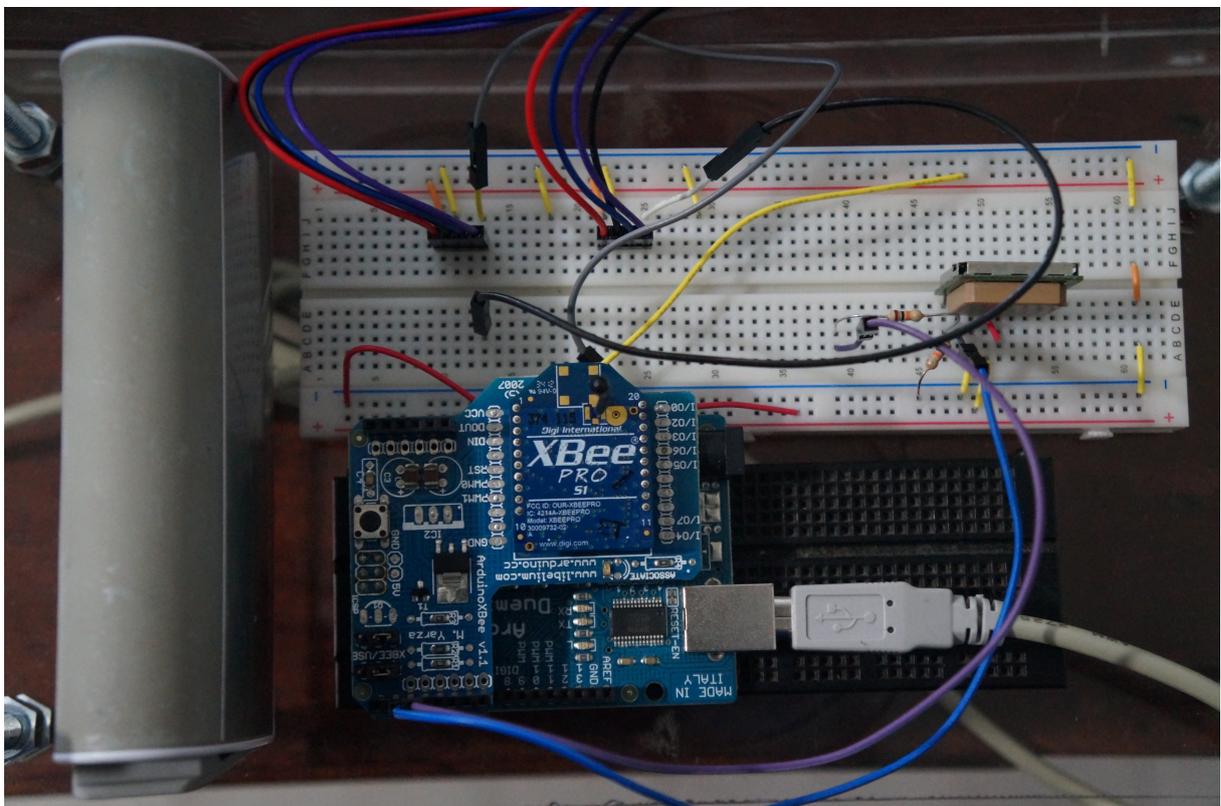
Figura 45 – Conexão do módulo GPS ao shield



Fonte: Autor

O circuito final do sistema embarcado pode ser observado na figura 46:

Figura 46 – Montagem do sistema embarcado



Fonte: Autor

Para melhorar a composição do sistema e facilitar a sua utilização para os testes práticos, foi construído um suporte feito em acrílico para servir de base para os componentes

montados descritos acima. O suporte foi desenhado em 3D por meio da versão de testes do software SolidWorks® 2015. A base desenhada foi feita utilizando uma peça de acrílico de 6mm de espessura, conforme a figura 47:

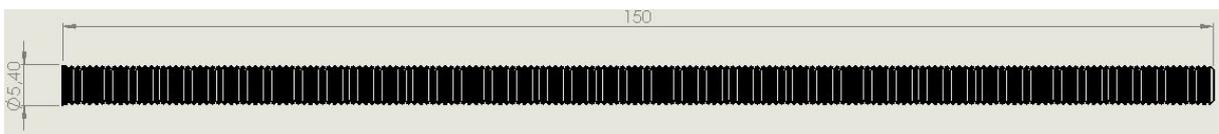
Figura 47 – Base do suporte em acrílico



Fonte: Autor

Para fixar as duas chapas do suporte foram utilizados quatro parafusos com 15 cm de comprimento, conforme visto na figura 48:

Figura 48 – Parafuso utilizado para fixação



Fonte: Autor

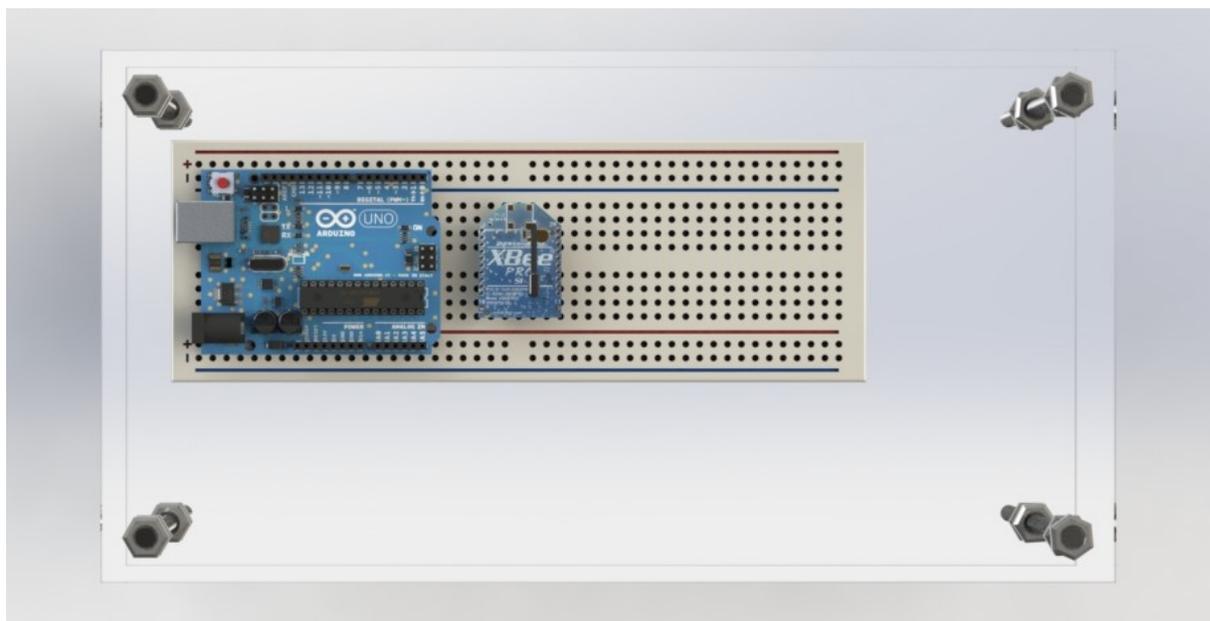
Após a finalização da idealização do suporte e dos desenhos necessários, foram feitas renderizações da montagem final do conjunto. Na figura 49 é mostrada a vista isométrica e na figura 50 a vista superior da montagem.

Figura 49 – Renderização da montagem do suporte



Fonte: Autor

Figura 50 – Vista superior da renderização da montagem



Fonte: Autor

O corte realizado na chapa de acrílico foi feito por uma oficina externa, as demais etapas de construção foram feitas usando os laboratórios e ferramentas disponibilizadas pela Coordenação de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas, conforme ilustrado na figura 51:

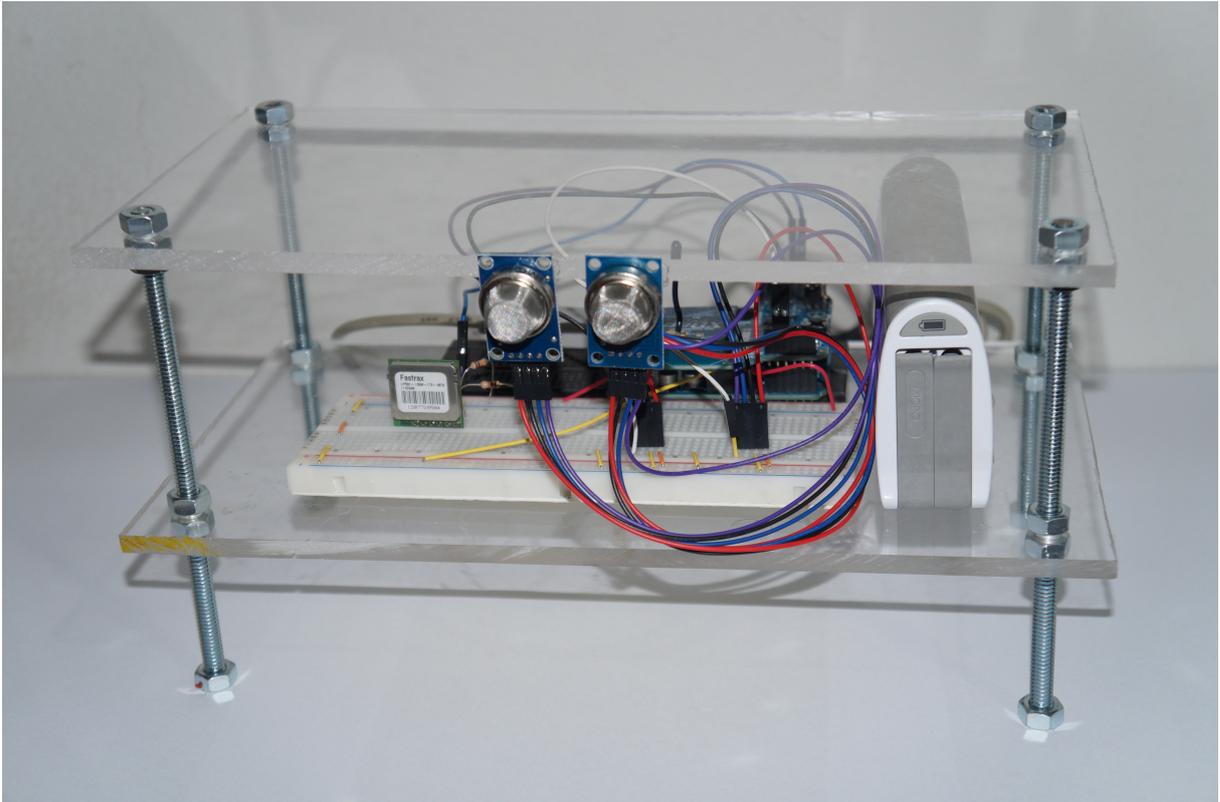
Figura 51 – Processo de manufatura do suporte de acrílico



Fonte: Autor

O resultado da montagem do sistema embarcado e do seu suporte pode ser visto na figura tal:

Figura 52 – Montagem do Sistema Embarcado



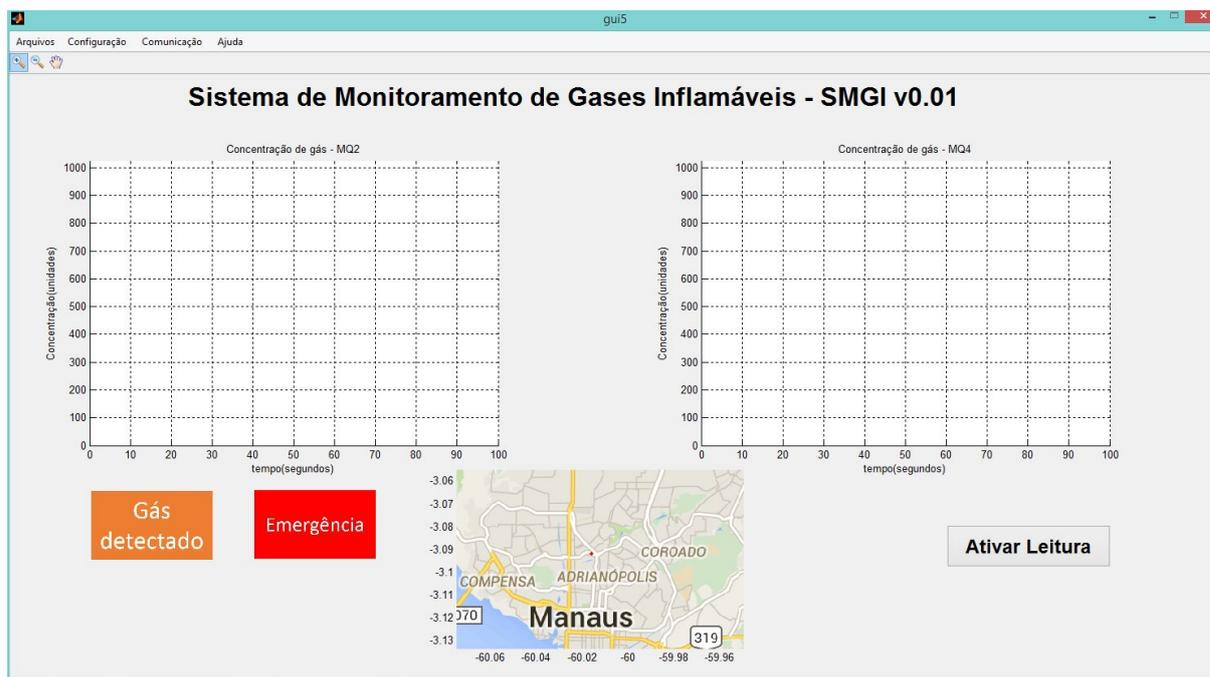
Fonte: Autor

4.9 Sistema supervisorio em MATLAB®

Para realizar a visualização dos dados monitorados foi desenvolvida uma interface de usuário utilizando o software MATLAB®. Por meio dessa interface, é possível verificar os níveis de concentração dos gases de forma visual, que torna mais fácil a compreensão e interpretação dos mesmos. Essa interface é projetada para funcionar com um computador conectado a um módulo XBee que receberá as informações transmitidas pelo XBee que é conectado ao sistema embarcado. Os dados recebidos são lidos pela interface e são mostrados em dois gráficos, um para cada sensor. Os dados de GPS são mostrados em um próprio quando que utiliza os dados de latitude e longitude do local onde o sistema embarcado esta localizado para plotar a posição do dispositivo.

Na figura 53 é mostrado o layout dessa interface:

Figura 53 – Interface de Monitoramento em MATLAB®



Fonte: Autor

5 SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão tratadas as simulações feitas com o sistema embarcado, a visualização dos dados e a análise dos resultados obtidos. Para a realização dos testes foram definidos dois tipos de simulação:

- Simulação em ambiente interno: Realizado em ambiente fechado e controlado em temperatura ambiente de 25°, com a ausência de interferência de vento, chuva e outros fatores.
- Simulação em ambiente externo: A simulação em ambiente externo é feita para testar a distância de transmissão do módulo XBee e do tempo de aquisição dos dados de GPS.

Serão testados os gases GLP, butano, propano e fumaça. Serão analisadas as respostas obtidas pelos sensores nos gráficos gerados pelo MATLAB® e serão definidos os níveis mínimos necessários para ativar os alarmes na interface de monitoramento.

5.1 Simulação em ambiente interno

As simulações em ambientes internos para os gases butano e propano foram realizadas no Laboratório de Automação - Robótica Fixa da Universidade do Estado do Amazonas, da mesma forma como a aquisição dos dados de GPS. A bancada de trabalho utilizada para os testes é mostrada na figura 54:

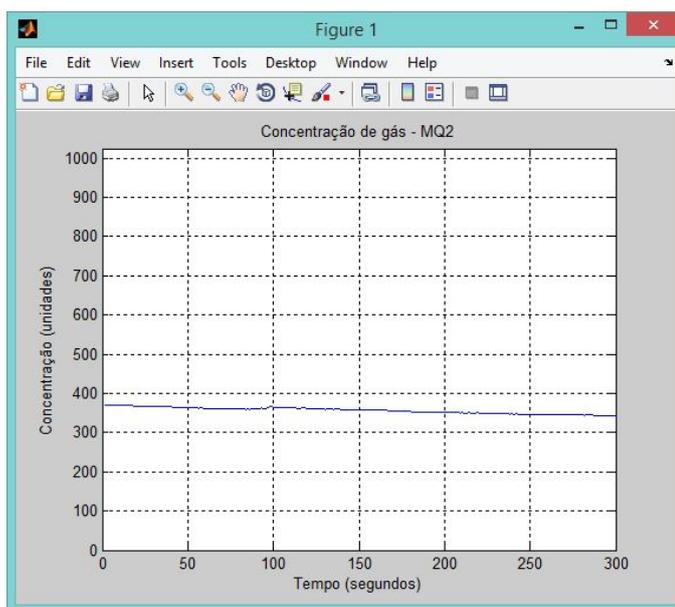
Figura 54 – Ambiente de simulação interna



Fonte: Autor

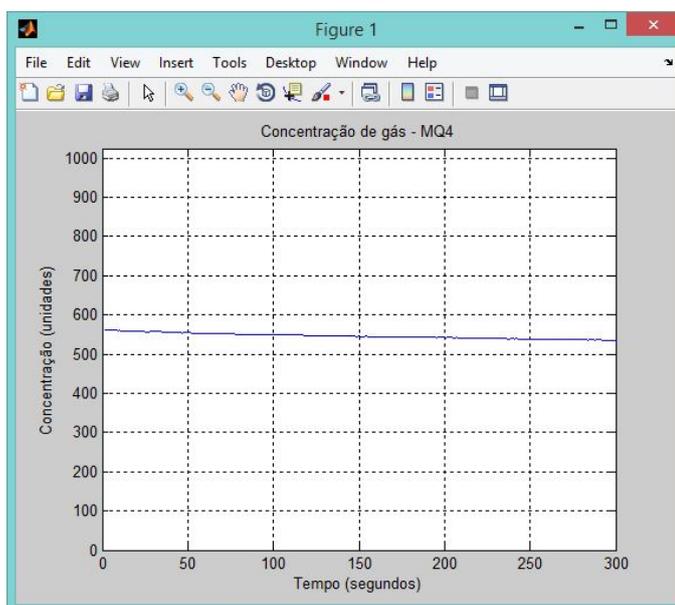
Neste tipo de ambiente os sensores MQ-2 e MQ-4 foram ligados e geraram respostas referentes ao nível de concentração de gás encontrados nesse tipo de espaço que está em equilíbrio. O objetivo desse teste inicial é determinar as saídas dos sensores para o ambiente de testes do Laboratório de Automação I e dessa forma armazenar essa referência para comparação com os dados gerados nas simulações que serão feitas em seguida. Os resultados obtidos para o sensor MQ-2 são mostrados na figura 55, enquanto os resultados para o sensor MQ-4 na figura 56:

Figura 55 – Resultados obtidos para o sensor MQ-2 para ambiente em equilíbrio



Fonte: Autor

Figura 56 – Resultados obtidos para o sensor MQ-4 para ambiente em equilíbrio

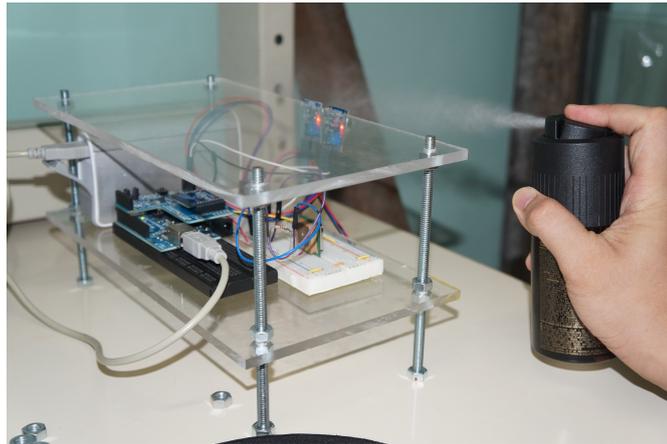


Fonte: Autor

5.1.1 Simulação com butano e propano

Para a realização da simulação com gás butano e propano foi utilizado um spray aerosol formado por uma combinação de ambos os gases. Esse spray foi aplicado no ambiente próximo ao protótipo, mas de forma que o jato não atingisse diretamente a superfície do sensor para evitar erros na leitura, conforme demonstrado na figura 57:

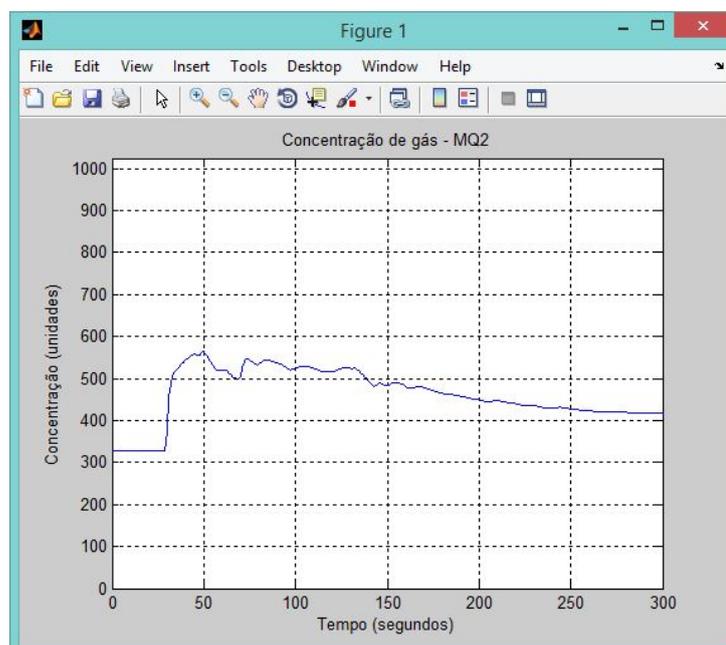
Figura 57 – Teste com spray aerosol - butano e propano



Fonte: Autor

O teste realizado demonstra que após alguns segundos do spray de butano e propano ser lançado no ambiente os sensores passam a indicar um aumento na leitura dos dados de concentração de gás. Vale lembrar que esses valores são dados em uma escala que varia de 0 a 1023 unidades. Ambos os sensores são capazes de identificar esses gases na atmosfera e por isso é mostrada a resposta obtida dos mesmos nas figuras 58 e 59:

Figura 58 – Resultados obtidos para o sensor MQ-2 para ambiente interno



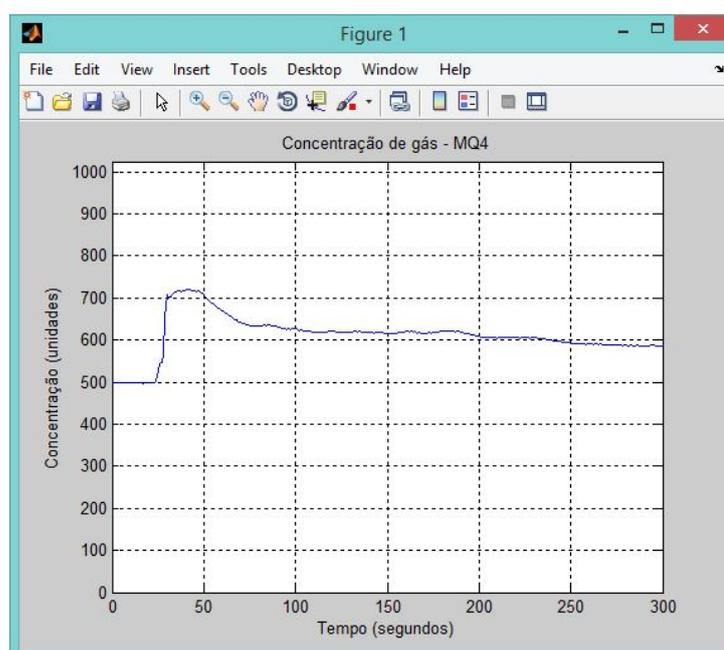
Fonte: Autor

Tabela 10 – Tempo de aquisição de dados - Ambiente interno

| Quantidade de testes | Tempo |
|----------------------|-------|
| 1 | 7:53 |
| 2 | 7:36 |
| 3 | 9:12 |
| 4 | 8:59 |
| 5 | 8:43 |

Fonte: Autor

Figura 59 – Resultados obtidos para o sensor MQ-4 para ambiente interno



Fonte: Autor

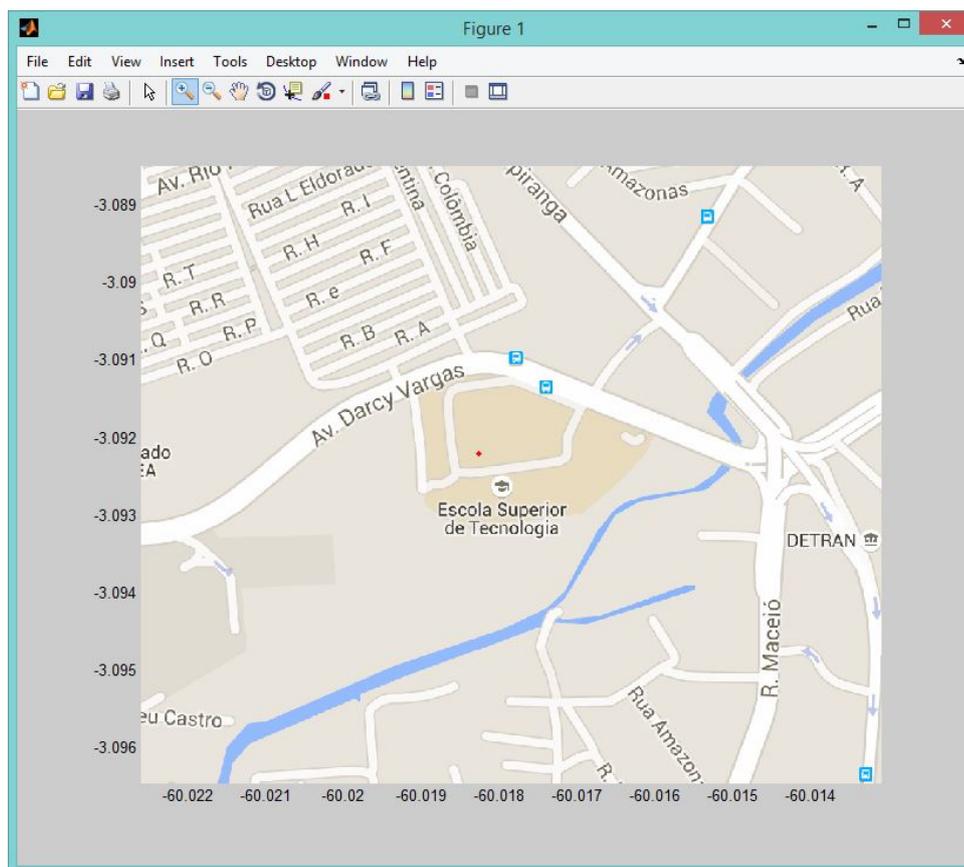
Nota-se em ambos os gráficos o aumento brusco no valor lido pelos sensores, mas que tende a diminuir e a voltar para seu valor inicial conforme o passar do tempo.

5.1.2 Simulação da aquisição de dados GPS

A aquisição dos dados de GPS é fundamental para determinar a posição geográfica na qual o sistema embarcado está posicionado. Para isso foram feitos uma série de testes para verificar o tempo necessário para que o módulo UP501 pudesse calcular as coordenadas do sistema. Dessa forma foi obtida a tabela 10 abaixo:

É possível verificar que os tempos obtidos estão na base de minutos. Isso se deve à interferência na recepção do sinal GPS causada pela estrutura física do laboratório utilizado. Com os dados de latitude e longitude obtidos, foi possível gerar o mapa de localização do local de teste por meio da função `plot_google_map` encontrada no MATLAB®, conforme pode ser visto na figura 60:

Figura 60 – Mapa gerado com os dados GPS - Ambiente interno



Fonte: Autor

5.2 Simulação em ambiente externo

5.2.1 Simulação da aquisição de dados GPS

A simulação de aquisição de dados de GPS também foi feita para o ambiente externo, neste caso, no estacionamento da Escola Superior de Tecnologia. Foi verificada uma grande mudança com relação ao tempo que o módulo GPS leva para calcular a posição geográfica do sistema embarcado, pois devido a falta de fatores que pudessem interferir na aquisição dos dados, o tempo necessário mudou de uma escala de minutos para apenas poucos segundos, dessa forma foi gerada a tabela 11:

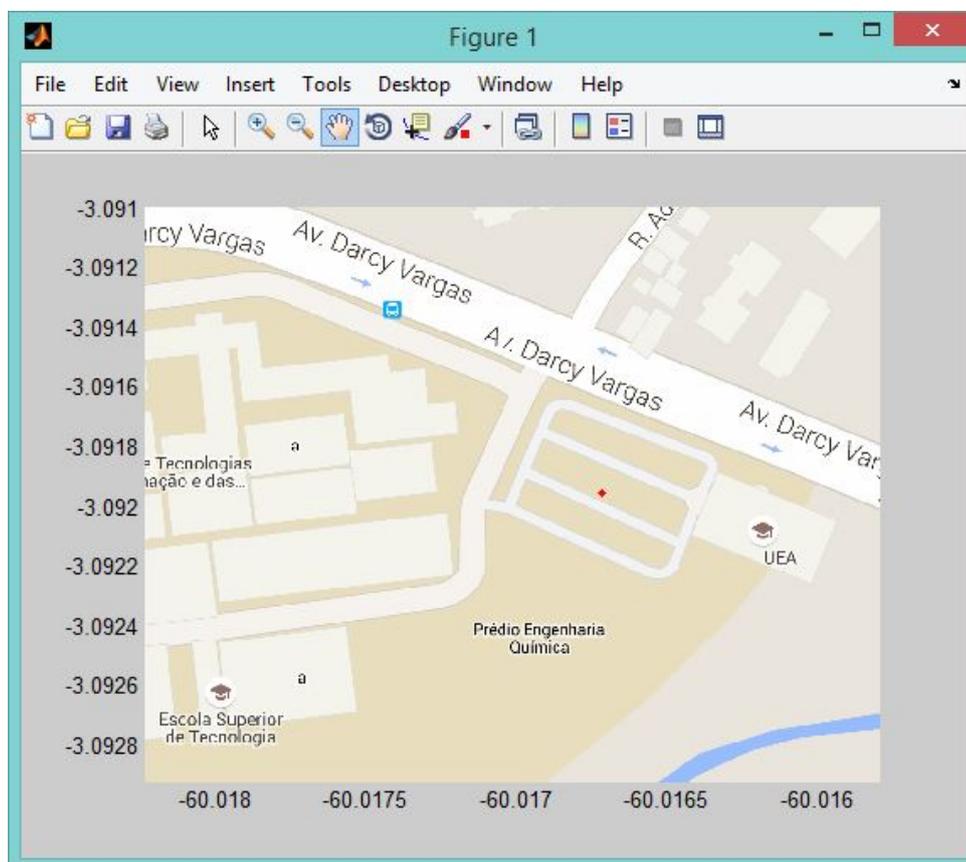
Tabela 11 – Tempo de download de dados - Ambiente externo

| Quantidade de testes | Tempo |
|----------------------|-------|
| 1 | 00:28 |
| 2 | 00:23 |
| 3 | 00:36 |
| 4 | 00:34 |
| 5 | 00:43 |

Fonte: Autor

Com os dados de latitude e longitude obtidos, foi possível gerar o mapa de localização do local de teste por meio da função `plot_google_map` encontrada no MATLAB®, conforme pode ser visto na figura 61:

Figura 61 – Mapa gerado com os dados GPS - Ambiente externo



Fonte: Autor

5.3 Teste distância de transmissão

Para medir a eficácia do sistema embarcado de enviar os dados coletados a grandes distâncias, foi realizado um teste no qual o dispositivo foi posto no fim da Avenida Visconde de Porto Seguro. O notebook com a interface de monitoramento foi alocado próximo a praça da Avenida das Torres, fazendo com que houvesse uma distância em linha reta de aproximadamente 1,03 quilômetros sem grandes obstáculos. O sistema embarcado foi capaz de enviar todas as informações dos sensores e do GPS até essa distância, porém, a partir desse ponto começaram a ocorrer falhas na transmissão dos dados de GPS que passou a não ser entregue de forma completa. Os dados dos sensores não foram afetados, pois são informações com menos dados e por isso, mais fáceis de serem enviadas por meio da comunicação sem fio.

Figura 62 – Teste de distância de transmissão

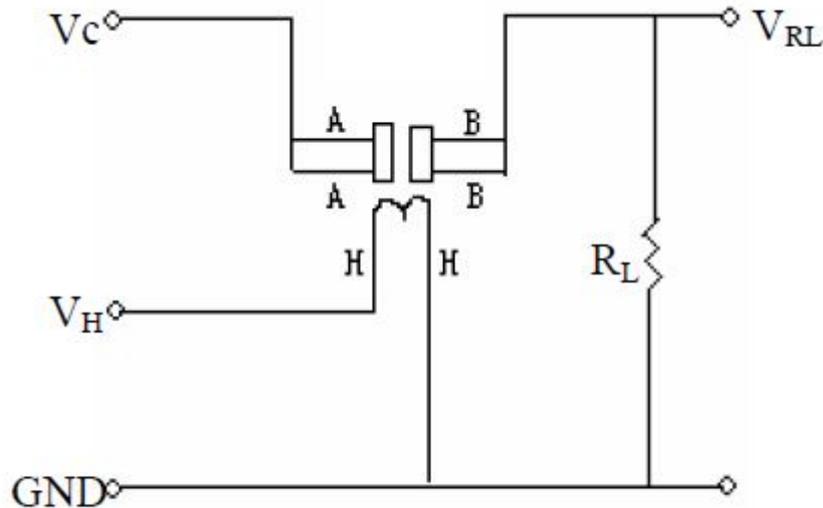


Fonte: <http://www.google.com.br/maps>

5.4 Definição dos alarmes de detecção de gás e emergência

Com os testes realizados na seção 5.1 é possível verificar que quanto maior a concentração de gás, maior será a resposta digital lida pela interface de monitoramento. Entretanto, esses dados ainda não são suficientes para calcular o índice de concentração de gás em partes por milhão (ppm). Em Electronics (a) e Electronics (b) as principais características dos sensores MQ-2 e MQ-4 são explicitadas. O circuito de funcionamento demonstrado na figura 63 ilustra a saída analógica dos sensores, por meio da resistência RL.

Figura 63 – Circuito de teste sensor MQ-2



Fonte: (ELECTRONICS, a)

Para o cálculo da sensibilidade de gás serão utilizadas duas variáveis, R_0 e R_s . A primeira é a resistência lida quando o sensor se encontra em ar limpo, e a segunda será a resistência na presença de gases inflamáveis. A equação abaixo é usada para calcular o valor de tensão V_s , inicialmente ao ar livre:

$$V_s = \frac{(\text{Valor Curva Digital})}{1024} \times 5 \quad (5.1)$$

Na equação 1, V_s é o valor de tensão no resistor e a variável "Valor da Curva Digital" é o valor de resposta obtido pelo sensor. Em seguida, é calculado o valor da resistência R_s :

$$R_s = \frac{5 - V_s}{V_s} \quad (5.2)$$

Na equação 2, R_s é o valor da resistência obtido por meio de V_s . Utilizando o valor de sensibilidade de R_s ao ar livre em Electronics (a), tem-se que:

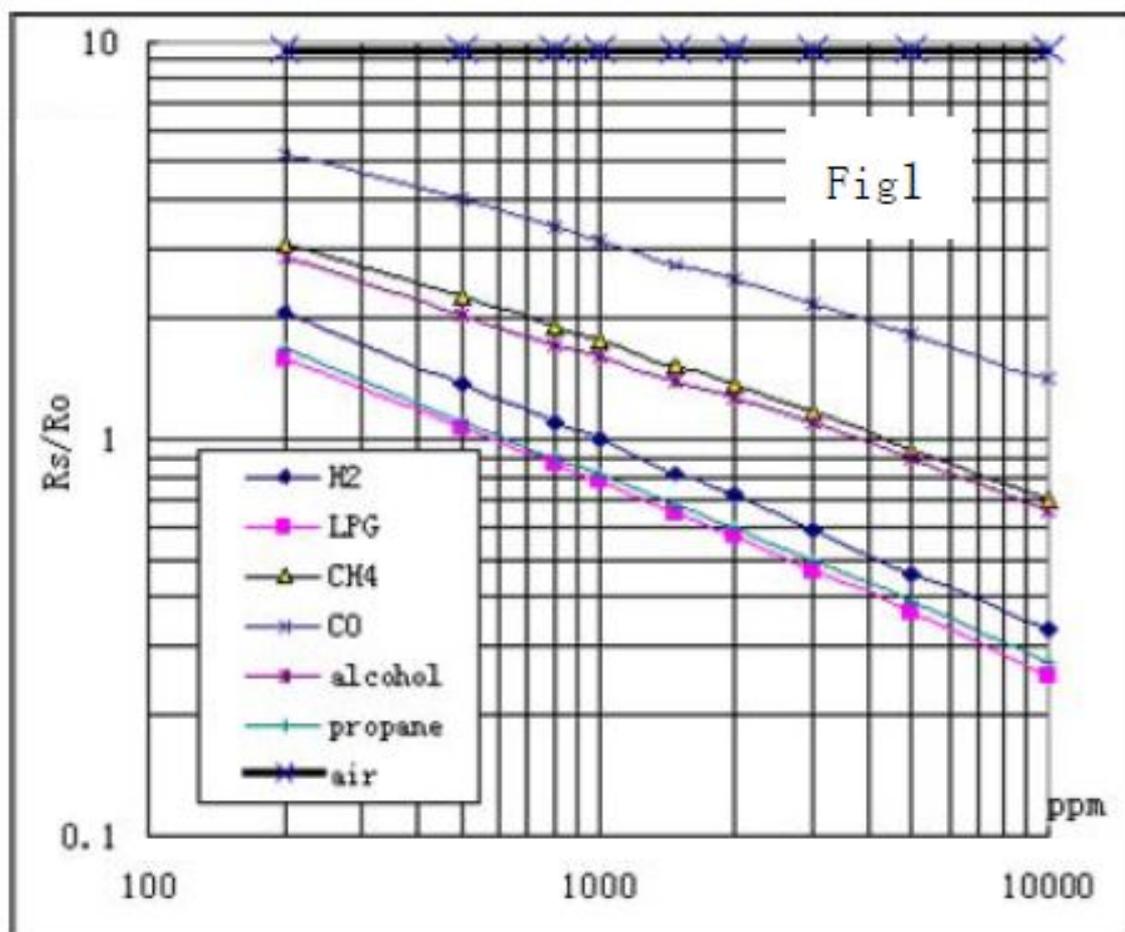
$$R_0 = \frac{R_s}{10} \quad (5.3)$$

O valor de R_0 obtido na equação 3 se refere ao valor de resistência gerado no sensor quando existe a ausência de gases inflamáveis. Uma vez que esse valor é salvo, o cálculo de R_s continua inalterado, conforme a equação 2. Dessa forma, é possível calcular a razão entre a resistência do sensor ao ar livre e na presença de um gás pela equação 4 abaixo:

$$\text{Razão} = \frac{R_s}{R_0} \quad (5.4)$$

Por meio da razão obtida, e do gráfico de sensibilidade do sensores MQ-2, é possível obter os valores de concentração de gás em partes por milhão:

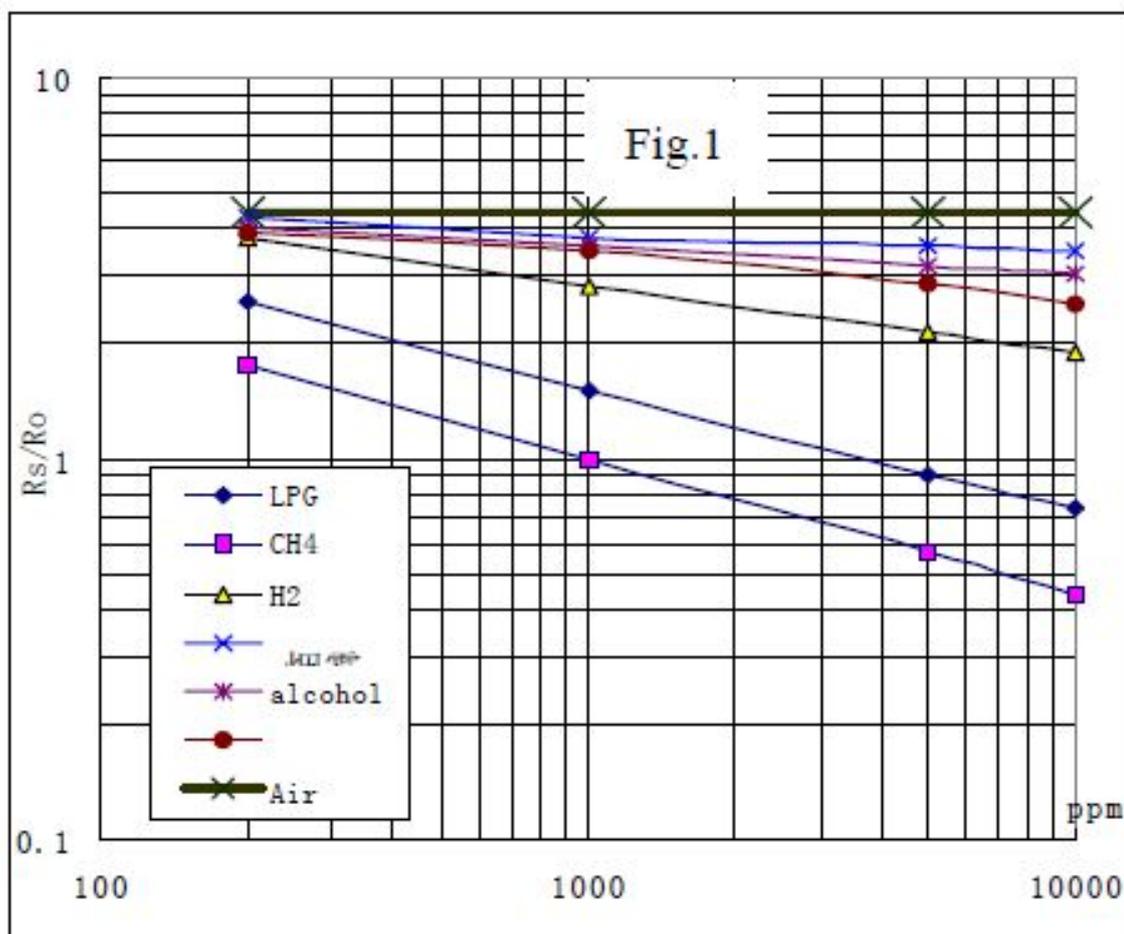
Figura 64 – Escala logarítmica de sensibilidade MQ-2



Fonte: (ELECTRONICS, a)

A razão também é utilizada para obter os valores de concentração de gás em partes por milhão para o sensor MQ-4:

Figura 65 – Escala logarítmica de sensibilidade MQ-4



Fonte: (ELECTRONICS, b)

A razão de conversão entre os valores descritos em percentual da tabela 3 é da ordem de 10.000, logo, é possível transformar os valores para partes por milhão, conforme a tabela 12:

Tabela 12 – Limites de Inflamabilidade de gases combustíveis em ppm

| Combustível | LII - ppm | LSI - ppm |
|-------------|-----------|-----------|
| GLP | 45000 | 150000 |
| Butano | 18000 | 84000 |
| Propano | 21000 | 95000 |

Fonte: Autor

Com base nesses dados é mostra-se que os valores mínimos de inflamabilidade dos gases testados está acima do nível máximo de sensibilidade do sensor (10.000 partes por milhão). O que não representa uma desvantagem, pois dessa forma, o sistema supervisor é capaz de mostrar o alerta de detecção de gás e de emergência antes que os níveis de concentração alcancem um valor perigoso.

Dessa forma, são feitas as seguintes definições para ativação dos alarmes na interface de monitoramento:

- O alarme de detecção de gás será ativado após os sensores captarem um incremento de 100 unidades com relação aos seus valores mínimo medidos, sendo o valor em ppm variável para o tipo de gás detectado.
- O alarme de emergência será acionado quando os sensores captarem um valor de concentração de gás superior ao máximo teórico, o que indicará uma concentração de gás igual ou superior a 10.000 ppm.

Sendo assim, os alarmes serão acionados de duas formas. A primeira será quando um gás for detectado por um dos sensores, o que indicará que seu nível de concentração estará aumentando. A segunda forma será quando esses níveis alcançarem valores muito altos, o que pode ocasionar uma situação de emergência e perigo.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram realizados os estudos e testes necessários para o funcionamento dos equipamentos utilizados, seguido pela construção do sistema embarcado e da interface de monitoramento do sistema supervisorio. O projeto demonstra que é possível realizar o monitoramento remoto da concentração de gases em ambientes fechados e controlados. Os sensores de gás são capazes de medir os valores de concentração de gás que são convertidos para partes por milhão de modo a calcular os alarmes segundo a tabela do limite de inflamabilidade de gases. Dessa forma é possível ativar o estado de emergência do sistema supervisorio antes que esses níveis de concentração se tornem críticos e assim agir na tomada de ações preventivas para evitar acidentes com risco de explosão.

Os módulos XBee permitem que o sistema supervisorio seja posicionado a uma distância suficiente para realizar os testes de monitoramento remoto ao mesmo tempo que torna mais segura essa atividade pois evita o contato direto que uma pessoa teria com o gás, caso utilizasse um simples detector portátil.

6.1 Dificuldades encontradas

As principais dificuldades foram encontradas nos testes individuais iniciais de cada componente, pois era necessário entender como cada um se comportava e suas configurações necessárias para o correto funcionamento do sistema.

Por ser um dispositivo capaz de coletar uma série de dados importantes, a configuração do módulo GPS se mostrou como sendo a mais complicada. Esse módulo trabalha por meio do envio de frases de dados, onde estão dispostos uma série de dados como data, hora, latitude, longitude, além de outros. Fora isso, foi necessário identificar o tempo necessário mínimo para que o mesmo fizesse a aquisição de dados e entender como esse tempo é afetado por fatores como a alocação do sistema em um ambiente externo ou interno.

O primeiros testes de comunicação realizados não tiveram sucesso, pois não era possível realizar transmissão de dados simples e os programas fornecidos pelo fabricante não funcionavam. Posteriormente se descobriu que o XBee Shield em questão estava avariado, o que levou a sua substituição e ao sucesso na transmissão dos dados.

Foi desenhado um suporte de acrílico para servir de base para os circuitos do sistema embarcado, porém, a construção foi dificultada devido a falta de uma máquina apropriada para cortar as chapas de acrílico nas dependências da faculdade. Essa questão foi resolvida levando a chapa para ser cortada em um local externo, todos os outros passos de construção do suporte foram feitos nos laboratórios de engenharia mecânica da Escola Superior de Tecnologia.

6.2 Trabalhos Futuros

- Utilizar mais sensores de gás para aumentar o número de gases que podem ser detectados pelo sistema.
- Desenvolver um algoritmo para identificar o tipo de gás medido por cada sensor com base na diferença de sensibilidade para gases diversos.
- Utilizar novos métodos de comunicação sem fio para aumentar o alcance do envio de dados pelo sistema embarcado
- Implementar na interface de monitoramento a possibilidade de conexão de mais de um sistema embarcado.
- Adicionar ao sistema embarcado um sistema composto por painéis solares para tornar possível um sistema de recarga remoto.
- Criar mais módulos de detecção de gases de modo a criar uma rede de sensores sem fio.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. *Arduino UNO Overview*. 2015. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>>. Acesso em: 06/03/2015. 38
- BOLTON, W. *Mechatronics: A Multidisciplinary Approach*. Pearson Prentice Hall, 2008. ISBN 9780132407632. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=gPTcxA3f_SIC>. Acesso em: 14/04/2015. 17
- BRANQUINHO, M.; BRANQUINHO, T.; JUNIOR, J. *Segurança de Automação Industrial e SCADA*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2014. 25
- DAUSILIO, A. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior research methods*, Springer, v. 44, n. 2, p. 305–313, 2012. 19
- DIGI. *XBee®/XBee-PRO® RF Modules*. v1.xex. 11001 Bren Road East Minnetonka, MN 55343, 2009. 44
- ELECTRONICS, H. H. *MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas*. Disponível em: <<http://goo.gl/gSb86H>>. Acesso em: 17/05/2015. 39, 40, 68, 69, 70
- ELECTRONICS, H. H. *MQ-4 Semiconductor Sensor for Combustible Gas*. Disponível em: <<http://goo.gl/gSb86H>>. Acesso em: 17/05/2015. 68, 71
- FASTRAX. *Technical Description Fastrax UP501 GPS Receiver*. Rev 1.2. Valimotie 7, 01510 Vantaa, FINLAND, 2010. 49
- FERREIRA, J. *Introdução ao Projecto com Sistemas Digitais e Microcontroladores*. FEUP, 1998. ISBN 9789727520329. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=sMJhuX0F1H8C>>. Acesso em: 10/03/2015. 18
- FONSECA, E. *Emprego de rede modular automatizada remota de plataformas de monitoramento da presença de metano, dióxido de enxofre e monóxido de carbono*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, 2013. 20, 28, 29, 30, 31
- GLASSMAN, I. *Combustion*. Third. [S.l.]: Academic Press, 2001. 26
- JOBSTRAIBIZER, F. *Desvendando as Redes sem Fio*. [S.l.]: Digerati Books, 2010. 16
- KOURI, M. G. *Definição de requisitos para um sistema de monitoramento de veículos no transporte rodoviário de cargas*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007. 12, 31, 32
- LOUREIRO, A. A. et al. Redes de sensores sem fio. In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 179–226. 16
- LOUREIRO, A. A. F. *Redes de Sensores sem Fio*. 2015. Disponível em: <http://ic.unicamp.br/~cmbm/desafios_SBC/loureiroredesensores.pdf>. Acesso em: 29/06/2015. 16
- MAGALHÃES, L. d. S. *Abastecimento de estoque por robô microcontrolado*. 2008. 18

- MALAFAYA, H.; TOMÁS, L.; SOUSA, J. P. Sensorização sem fios sobre zigbee e ieee 802.15. 4. *JETC05-Terceiras Jornadas de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa*, 2005. 22, 23
- MARTINS, N. A. *Sistemas Microcontrolados*. [S.l.]: São Paulo: Novatec Editora, 2005. 18
- MATHWORKS. *Matlab, the language of Technical Computing*. 2015. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/features.html>>. Acesso em: 11/03/2015. 24
- MORAES, C. de; CASTRUCCI, P. de L. *Engenharia de automação industrial*. LTC, 2007. ISBN 9788521615323. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=irN1PgAACAAJ>>. Acesso em: 12/03/2015. 19, 25
- REINA, R. 1 acidente de caminhão a cada 5 minutos. *O Estado de São Paulo*, p. Metrópole, p. C1, 2007. 12
- ROCHA, J. W. V. *Rede de Sensores sem Fio*. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/pdf2010/tutorialrssf.pdf>>. Acesso em: 29/06/2015. 16
- SANTOS, J. L. A. D. *Sistema telemétrico para monitoramento de trens através de redes de sensores sem fio e processamento em sistema embarcado*. Tese (Doutorado) — PPGI, Universidade Federal da Paraíba-Brasil, 2010. 32, 33, 34, 35
- SILVA, A. T. da. Módulos de comunicação wireless para sensores. *Universidade do Porto, Porto, Projecto Final de Curso*, 2007. 23
- SINGH, A. *Microcontroller and Embedded System*. New Age International (P) Limited, 2008. ISBN 9788122422757. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=E5BluKnE5XsC>>. Acesso em: 10/03/2015. 18
- SPINOLA, M.; PESSOA, M. *Introdução à automação: para cursos de engenharia e gestão*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2014. 24, 25
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. de. *SENSORES INDUSTRIAIS - FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES*. ERICA, 2007. ISBN 9788536500713. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=GJV7PgAACAAJ>>. Acesso em: 11/03/2015. 19
- TOKHEIM, R. *Fundamentos de Eletrônica Digital - Vol.1: Sistemas Combinacionais*. [s.n.], 2013. ISBN 9788580551938. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=-k3lAwAAQBAJ>>. Acesso em: 15/03/2015. 18
- VIEIRA, H. F. *Gestão de estoques e operações industriais*. [S.l.]: IESDE BRASIL SA, 2009. 12
- VIVAS, B. M. M. Determinação experimental de limites de inflamabilidade e temperatura de auto-ignição de petro e biocombustíveis em tubo de combustão. 2012. 26


```
// uncomment this line to turn on only the "minimum recommended" data for high
update rates! mySerial.println(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMCONLY);
// uncomment this line to turn on all the available data - for 9600 baud you'll want 1
Hz rate
//mySerial.println(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_ALLDATA);
// Set the update rate
// 1 Hz update rate mySerial.println(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_1HZ);
// 5 Hz update rate- for 9600 baud you'll have to set the output to RMC only (see
above)
//mySerial.println(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_5HZ);
// 10 Hz update rate - for 9600 baud you'll have to set the output to RMC only (see
above)
//mySerial.println(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_10HZ);
}
void loop()
// run over and over again {
//delay(50);
if (mySerial.available()) {
Serial.print((char)mySerial.read()); }
//delay(50);
if (Serial.available()) {
mySerial.print((char)Serial.read()); }
}
```