

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DO ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE DOUTORADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**PAULO HENRIQUE SOARES**

**PLATAFORMA PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR**  
**USANDO MICROCONTROLADORES PROGRAMÁVEIS E MINERAÇÃO DE**  
**DADOS**

**Tese submetida à Universidade Estadual de Maringá,  
como parte dos requisitos necessários à obtenção do  
Grau de Doutor em Engenharia Química, área de  
Microcontroladores.**

**Orientador: Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade**

Maringá – PR – Brasil

Abril – 2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**PROGRAMA DE DOUTORADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**PLATAFORMA PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR**  
**USANDO MICROCONTROLADORES PROGRAMÁVEIS E MINERAÇÃO DE**  
**DADOS**

Paulo Henrique Soares

Engº de Software, 2009.

Mestre em Ciência da Computação, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)**

S676p Soares, Paulo Henrique  
Plataforma para monitoramento da qualidade do ar usando  
microcontroladores programáveis e mineração de dados /  
Paulo Henrique Soares. -- Maringá, 2018.  
80 f. : il., color., figs., tabs.

Orientador(a): Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves de  
Andrade.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá,  
Centro de Tecnologia, Departamento de Química, Programa de  
Pós-Graduação Química, 2018.

1. Qualidade do ar. 2. CO<sub>2</sub>. 3. Gases de efeito estufa.  
4. Microcontrolador. I. Andrade, Cid Marcos Gonçalves,  
orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de  
Tecnologia. Departamento de Química. Programa de Pós-  
Graduação em Química. III. Título.

CDD 21.ed. 660.634  
AHS-CRB-9/1065

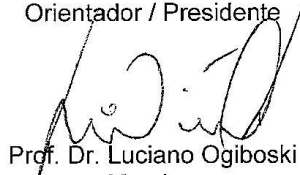
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Tese de Doutorado apresentada por Paulo Henrique Soares perante a Comissão Julgadora do Curso de Doutorado em Engenharia Química em 05 de abril de 2018.

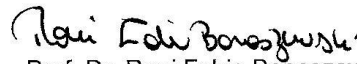
COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade  
Orientador / Presidente



Prof. Dr. Luciano Ogiboski  
Membro



Prof. Dr. Roni Fabio Banaszewski  
Membro



Prof. Dr. Johny Paulo Monteiro  
Membro



Prof. Dr. Marcelo Fernandes Vieira  
Membro

## **DEDICATÓRIA, AGRADECIMENTOS**

- Entre tantas pessoas envolvidas na construção deste trabalho, eu gostaria inicialmente de agradecer ao professor Cid, não somente pela orientação, mas também por todo tipo de auxílio na superação das dificuldades encontradas ao longo destes quase quatro anos. Hoje, tenho a honra de dizer que o Cid é bem mais que um orientador, é um grande amigo.
- Também gostaria de agradecer aos colegas de trabalho da UTFPR, em especial aos coordenadores da época, Luciano e Guilherme, que se desdobraram na criação de condições para que eu pudesse conciliar o trabalho e o doutorado.
- E claro, não tem como deixar de agradecer o apoio e paciência da família, em especial minha esposa, que precisou se desdobrar nos cuidados da pequena Eduarda, para que eu pudesse finalizar este trabalho.
- Sem correr o risco de ser injusto e acabar deixando de agradecer alguém, gostaria de deixar registrado o meu mais profundo agradecimento a todos as pessoas, que de alguma forma, me auxiliaram no término deste trabalho.

## **LISTA DE FIGURAS:**

Figura 1: Sensor MG811

Figura 2: Placa do Arduíno

Figura 3: Placa do Raspberry Pi

Figura 4: Módulo Xbee e Xbee-PRO

Figura 5: Arquitetura geral da plataforma

Figura 6: Etapas de desenvolvimento da plataforma

Figura 7: Esquema de Conexão entre o MG811 e o Arduíno

Figura 8: Algoritmo de interpretação do MG811

Figura 9: Estrutura da rede sensor sem fio

Figura 10: Software XCTU para configuração dos módulos Xbee

Figura 11: Esquema de armazenamento de dados temporário

Figura 12: Parâmetros do arquivo de configuração do MySQL

Figura 13: Parâmetros configuração do banco de dados master

Figura 14: Parâmetros do arquivo de configuração do MySQL do servidor

Figura 15: Esquema de replicação de dados entre o Raspberry Pi e o Servidor

Figura 16: Tela de consulta de CO<sub>2</sub> por date e horário

Figura 17: Tela para consulta de picos na concentração de CO<sub>2</sub>

Figura 18: Tela para consulta de média da concentração de CO<sub>2</sub>

Figura 19: Tela para consulta de média da concentração de CO<sub>2</sub> por sensor

Figura 20: Tela para consulta de média da concentração de CO<sub>2</sub> durante um período

Figura 21: Tela de configuração dos parâmetros para geração do gráfico

Figura 22: Gráfico com o perfil da qualidade do ar em determinado período

Figura 23: Página WEB com a concentração de CO<sub>2</sub> em tempo real-time

Figura 24: Diagrama físico do banco de dados da plataforma

Figura 25: Tela de geração do arquivo ARFF

Figura 26: Arquivo ARFF gerado

Figura 27: Distribuição dos sensores no Estádio Regional Willie Davids

Figura 28: Distribuição dos sensores no Parque do Ingá

Figura 29: Curva média de concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) variando entre 6:00 e 21:00 horas

Figura 30: Árvore de decisão gerada pelo processo de mineração de dados

## **LISTA DE QUADROS:**

Quadro 1: Componentes de Hardware e Software utilizados na plataforma

Quadro 2: Custo dos equipamentos e tecnologias utilizadas no desenvolvimento

Quadro 3: Dados estatísticos da concentração de CO<sub>2</sub> obtidos pela plataforma durante as 12 semanas de monitoramento

## **LISTA DE SIGLAS:**

|                 |   |
|-----------------|---|
| A               | Ampere  |
| CO <sub>2</sub> | Dióxido de carbono                              |
| NOAA            | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| PPM             | Partes por milhão                               |
| SGBD            | Sistema Gerenciador de Banco de Dados           |
| SQL             | Structure Query Language                        |
| V               | Volts   |



**PLATAFORMA PARA MONITORAMENTO E ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR  
USANDO MICROCONTROLADORES PROGRAMÁVEIS E MINERAÇÃO DE  
DADOS**

**AUTOR: Paulo Henrique Soares**

**ORIENTADOR: Profº Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade**

**Proposta de Tese de Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química,  
Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL D90; CEP 87020-900 -  
Maringá - PR, Brasil; a ser defendida na etapa final dia 05 de Abril de 2018.**

**RESUMO:**

Devido aos inúmeros problemas gerados pelo aumento da emissão de gases poluentes na atmosfera, tornou-se fundamental que um monitoramento mais efetivo da qualidade do ar seja realizado. Com isso, diversas pesquisas publicadas nos últimos anos têm demonstrado uma série de mecanismos e técnicas com capacidade de monitorar a qualidade do ar de diferentes formas. Este trabalho propõe uma plataforma formada por uma rede sensor sem fio, com capacidade de monitorar os níveis de poluição em diversos pontos simultaneamente, disponibilizando estas informações em tempo real para qualquer dispositivo conectado à internet. Além disso, um dos principais diferenciais desta pesquisa foi a implementação de um sistema de consulta avançada, além de uma ferramenta de mineração de dados, onde por meio de algoritmos de classificação baseados em conceitos de inteligência artificial, é possível que uma análise mais avançada sobre a qualidade do ar seja realizada, auxiliando em um processo de gestão ambiental mais eficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** poluição do ar, monitoramento da qualidade do ar, microcontrolador,  
CO<sub>2</sub>

# **PLATFORM FOR MONITORING AND ANALYSIS AIR QUALITY USING PROGRAMMABLE MICROCONTROLLERS AND DATA MINING**

**AUTHOR: Paulo Henrique Soares**

**SUPERVISOR: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup>. Cid Marcos Gonçalves Andrade**

**Proposal for a Doctoral Thesis: Chemical Engineering Post-Graduate Program; State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL D90; 87020-900 - Maringá - PR, Brasil; to be defended in the final stage on April, 05 2018.**

## **ABSTRACT**

Due to the numerous problems generated by the increase of the emission of pollutant gases in the atmosphere, it has become fundamental that a more effective monitoring of the quality of the air is realized. With this, several studies published in the last years have demonstrated a series of mechanisms and techniques with capacity to monitor air quality in different ways. This work proposes a platform formed by a wireless sensor network, capable of monitoring pollution levels in several points simultaneously, making this information available in real time to any device connected to the Internet. In addition, one of the main differentials of this research was the implementation of an advanced query system, in addition to a data mining tool, where through classification algorithms, based on artificial intelligence concepts, a decision tree is generated enabling a more advanced analysis of air quality be done, aiding in a more efficient environmental management process.

**KEYWORDS:** air pollution, monitoring of air quality, microcontroler,  $CO_2$

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO  | 1  |
| 1.1 OBJETIVOS  | 3  |
| 1.1.1 Objetivo Geral   | 3  |
| 1.1.2 Objetivos Específicos  | 3  |
| 1.2 Justificativa e Contribuições  | 4  |
| 1.3 Organização do Trabalho  | 6  |
| <br>   |    |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA   | 8  |
| 2.1 Poluição Atmosférica   | 8  |
| 2.1.1 Principais Gases Poluentes   | 8  |
| 2.1.2 Dióxido de Carbono   | 9  |
| 2.2 Monitoramento da Qualidade do Ar   | 10 |
| 2.2.1 Sensor MG811   | 11 |
| 2.2.2 Arduíno  | 12 |
| 2.2.3 Raspberry Pi   | 14 |
| 2.2.4 ZigBee   | 17 |
| 2.2.5 Módulo Xbee  | 18 |
| 2.3 Mineração de Dados   | 19 |
| 2.4 Trabalhos Relacionados   | 21 |
| <br>   |    |
| 3. METODOLOGIA   | 24 |
| 3.1 Arquitetura da Plataforma  | 24 |
| 3.2 Componentes da Plataforma  | 26 |
| 3.3 Etapas de Desenvolvimento da Plataforma                                      | 27 |
| 3.3.1 Desenvolvimento do Algoritmo de Interpretação e Calibração do Sensor MG811 | 28 |
| 3.3.2 Construção da Rede Sensor Sem Fio  | 31 |
| 3.3.3 Desenvolvimento da Estrutura de Armazenamento Temporário dos Dados         | 34 |
| 3.3.4 Replicação de Dados para o Servidor  | 37 |
| 3.3.5 Desenvolvimento do Sistema de Apresentação de Dados                        | 40 |
| 3.3.6 Mineração de Dados   | 48 |
| 3.3.7 Testes   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| 3.4 Custo de Desenvolvimento da Plataforma     | 53 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES                     |    |
| 54   |    |
| 5. CONCLUSÃO                                   | 59 |
| 5.1 Trabalhos Futuros                          | 59 |
| 6. REFERÊNCIAS                                 | 61 |
| 7. ANEXOS                                      | 68 |
| 7.1 Algoritmo de interpretação do sensor MG811 | 68 |

## 1. INTRODUÇÃO

Existe um grande número de substâncias que, de alguma forma, acabam gerando poluição atmosférica. Entretanto, determinados materiais são considerados mais poluentes do que outros, pelo fato de apresentarem mais riscos tanto a saúde dos seres vivos quanto ao meio ambiente como um todo. Nos últimos anos, o lançamento de poluentes na atmosfera vem crescendo em níveis preocupantes, resultado principalmente da multiplicação do número de indústrias e da queima de combustíveis fósseis (Ingwersen et al. 2014; Resitoglu et al. 2015).

Com o aumento da poluição atmosférica, as pessoas começaram a ter uma maior exposição a determinadas substâncias consideradas tóxicas ao seu organismo. Dentro deste cenário preocupante, tornou-se fundamental acompanhar os níveis de concentração dos poluentes que oferecem maior risco à saúde humana, principalmente em ambientes de grande circulação de pessoas, como praças, parques, regiões centrais das grandes cidades, entre outros (Marc et al. 2015).

Devido aos inúmeros tipos de poluentes, quantificar a concentração de todos eles simultaneamente é uma tarefa complexa e de alto custo, pois cada substância exige equipamentos e técnicas específicas para seu correto monitoramento. Uma forma de amenizar este problema é mensurar a presença de gás carbônico, pelo fato dele ser considerado um excelente indicador de qualidade do ar. Desta forma, quando a concentração de CO<sub>2</sub> em determinado ambiente está alta, grande parte dos demais gases poluentes também costumam seguir esta mesma tendência, principalmente o monóxido de carbono, que é liberado pela maioria dos veículos automotores, e consiste em uma substância extremamente tóxica ao ser humano (Ashok et al. 2014; Górka and Lewicka-Szczebak 2013).

Atualmente, o homem lança aproximadamente 50 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o principal gás causador do aquecimento global, por ano na atmosfera terrestre. Segundo dados do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a concentração de dióxido de carbono na atmosfera atingiu, em 2014, pela primeira vez desde que medições começaram a ser realizadas, o valor de 400 ppm. Esse mesmo laboratório aponta que a concentração de CO<sub>2</sub> era inferior a 320 ppm em 1960 (Yulsman

2014; Andrews et al. 2014). Embora uma série de medidas para redução da emissão de gases poluentes tenham sido tomadas, a emissão de dióxido de carbono aumenta gradativamente no decorrer dos anos.

Apesar de muita informação sobre poluição seja divulgada constantemente, parte significativa da população ainda não tem uma noção exata dos malefícios que determinadas substâncias gasosas geram tanto para o meio ambiente quanto para o organismo humano. No caso específico do dióxido de carbono, além de causar uma série de problemas ambientais, também gera diversos efeitos negativos sobre os seres vivos, como problemas respiratórios, falta de concentração e, nos casos mais extremos, aumento do risco de câncer e até mesmo a morte (Muscatiello, Mccarthy, Kielb et al. 2015). Desta forma, é importante que um monitoramento da concentração de CO<sub>2</sub> seja realizado com frequência, principalmente em ambientes com alta circulação de pessoas, como parques, praças, etc.

Existem diversos métodos laboratoriais para efetuar o monitoramento de poluentes no ar, como gravimetria, titulometria, espectroscopias de massa, interferometria, fotometria, entre muitos outros. O problema é que muitas destas técnicas precisam ser executadas em laboratório, com período de conclusão e custo relativamente alto, dada a necessidade de profissionais qualificados e diversos tipos de equipamentos. Devido estas dificuldades, uma alternativa eficiente no monitoramento da qualidade do ar é a utilização de sensores digitais, capazes de medir a concentração de diversos tipos de gases em tempo real, sem a necessidade do acompanhamento contínuo de profissionais ou uso de modernos laboratórios (Mead, Popoola, Stewart et al. 2013).

Com base nestas informações, este trabalho o desenvolvimento de uma plataforma para monitoramento de dióxido de carbono, formada por uma rede de sensores sem fio, com capacidade de medir a concentração de CO<sub>2</sub> de forma simultânea em diversos pontos, além de possuir uma interface para acompanhamento da qualidade do ar em tempo real. Uma das contribuições principais desta pesquisa, é a inclusão de ferramentas de análise e mineração dos dados coletados pelos sensores. Com isso, informações estratégicas podem ser fornecidas tanto para pesquisadores quanto para autoridades ambientais, auxiliando estes profissionais em um processo mais eficiente de gestão da qualidade do ar.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho possui como objetivo desenvolver uma plataforma, formada por uma rede sensor sem fio, com capacidade para monitorar, analisar e disponibilizar instantaneamente a concentração de CO<sub>2</sub> presente em diversos pontos de um determinado ambiente. Desta forma, qualquer pessoa poderá acompanhar as variações nos índices de dióxido de carbono sempre que necessário, bastando apenas estar conectado a internet. O sistema de monitoramento foi projetado para ser multiplataforma, permitindo que os dados sejam acessados por meio de computadores, smartphones, tablets, independente do sistema operacional utilizado.

Além disso, a plataforma disponibiliza diversas ferramentas de consulta e um algoritmo de mineração de dados, visando encontrar padrões que possibilitem traçar o perfil da concentração de dióxido de carbono no ambiente analisado, gerando relatórios com apontamentos dos dias e horários onde os índices de CO<sub>2</sub> encontram-se mais críticos.

Para construção de todo o projeto foram utilizados apenas tecnologias open-source e componentes físicos, como sensores e microcontroladores, de baixo custo, visando reduzir o preço de desenvolvimento da plataforma.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Construir uma rede de sensores sem fio com capacidade para monitorar a concentração de dióxido de carbono em diversos pontos de um determinado ambiente.
- Conectar um microcontrolador com a rede de sensores sem fio para armazenar as concentrações de CO<sub>2</sub> obtidas em um banco de dados centralizado em um servidor.
- Desenvolver um sistema formado por diversas ferramentas de consulta que possibilite filtrar e analisar os dados coletados.

- Desenvolver um site que disponibilize em tempo real as concentrações de CO<sub>2</sub> feitas pelos sensores e armazenadas no banco de dados do servidor. O site terá responsividade para que funcione nos mais diversos tipos de dispositivos.
- Desenvolver uma ferramenta capaz de minerar os dados coletados pelos sensores, com o objetivo de encontrar padrões e traçar o perfil da concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente analisado.
- Testar o funcionamento de toda a plataforma por meio de medições nos principais parques de Maringá.

## 1.2 Justificativa e Contribuições

Atualmente, temas como aquecimento global, efeito estufa, mudanças climáticas, entre diversos outros problemas ambientais, estão em grande evidência não somente na comunidade científica, mas na sociedade como um todo. Segundo a Organização Mundial Meteorológica (OMM), 2017 foi um dos anos mais quentes já registrados pelo homem, além de ter apresentado um número de fenômenos climáticos, como furacões, tornados, entre outros, acima da média. Muitos especialistas apontam o aumento da emissão de gases poluentes na atmosfera como principal responsável por estas mudanças climáticas que vem ocorrendo nos últimos anos (Sun et al. 2018)(Zachmann 2015).

Segundo dados do NOAA, nos últimos 55 anos a concentração de dióxido de carbono aumentou em mais de 80 ppm, sendo que em 2014 ultrapassou a marca de 400 ppm pela primeira vez na história. Este dado demonstra que apesar de políticas de redução da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, ela continua ocorrendo em larga escala. E como resultado disto, diversos segmentos da sociedade acabam sofrendo com as consequências diretas e indiretas da poluição, que compromete não apenas a saúde das pessoas, mas também a agricultura, pecuária e a qualidade de vida como um todo (Zachmann 2015).

Contudo, além das questões ambientais, o contato com altas concentrações de CO<sub>2</sub> pode ocasionar muitos problemas fisiológicos ao ser humano, como dores de cabeça, problemas respiratórios, dificuldades de concentração, aumento do risco de câncer, e até mesmo a morte em casos mais extremos. O dióxido de carbono também prejudica



consideravelmente o desempenho de atletas, de profissionais que desempenham atividades que exijam concentração e de estudantes, pois gera cansaço, fadiga muscular e mal estar (Marc et al. 2015).

Outra questão importante a ser considerada com relação a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, é que o valor de 400 ppm mensurado pelo NOAA foi obtido em uma região com cerca de 3500 metros de altitude, afastada de fontes diretas de poluição. Já nos grandes centros urbanos, onde o número de indústrias e veículos é muito maior, a quantidade de CO<sub>2</sub> acaba tendo valores bem mais elevados. Além disso, o gás carbônico é considerado um excelente indicador de qualidade do ar, pois quando sua concentração em determinado ambiente está alta, outros tipos de gases poluentes também costumam seguir a mesma proporção, principalmente o monóxido de carbono, que é extremamente tóxico ao ser humano (Ashok et al. 2014; Górká et al. 2013).

Considerando todas estas informações, torna-se importante medir o grau de poluição atmosférica, principalmente nas cidades, onde o número de pessoas é maior. Embora existam diversos tipos de sensores disponíveis no mercado, as cidades brasileiras não costumam ter uma política de monitoramento da qualidade do ar, muito em função do custo elevado deste tipo de equipamento.

Nos últimos anos, diversos trabalhos propondo mecanismos de monitoramento da qualidade do ar foram publicados, sendo diferenciados principalmente pelos seus respectivos objetivos. Um dos projetos mais relevantes na área, montou uma grande rede sensor sem fio, com capacidade de medir índices de CO<sub>2</sub> em grandes áreas urbanas, sendo o foco principal dos pesquisadores desenvolver técnicas para gerenciar a comunicação entre as centenas de nós. Outro grupo desenvolveu uma plataforma para monitorar a qualidade do ar, focando em disponibilizar instantaneamente a concentração de dióxido de carbono com um baixo custo de construção. Também foram implementadas plataformas onde os sensores são colocados em carros, bolsas e até mesmo drones (Escorza e Guedea 2014)(Xufei et al. 2012)(Song et al. 2012)(Abraham et al. 2016).

Por mais importante que seja monitorar a qualidade do ar, o alto investimento dificulta este tipo de iniciativa. Desta forma justifica-se o objetivo deste trabalho que consiste em desenvolver uma plataforma para monitorar a qualidade do ar utilizando apenas tecnologias livres e componentes de baixo custo, incentivando a implantação deste tipo de sistema em diversos ambientes, tais como praças, parques, escritórios, entre outros.

Além do fator custo, analisando-se diversas plataformas de monitoramento, observou-se que estas possuem foco direcionado principalmente em determinadas questões técnicas, tais como precisão do sensor, economia de bateria, melhoria nos mecanismos de comunicação, métodos de exibição de dados online, entre outras. Entretanto, nenhum tipo de recurso que permita uma análise mais aprofundada dos dados coletados pelos sensores, capaz de determinar padrões que auxiliem na tomada de decisões estratégicas no controle da poluição, foi implementado nos trabalhos pesquisados.

A plataforma desenvolvida neste trabalho contribui com o tratamento de dados, sendo uma alternativa capaz de coletar e fornecer instantaneamente a concentração de dióxido de carbono. Além de oferecer uma estrutura de mineração para estes dados, permitindo que análises mais cuidadosas sejam realizadas, tudo isso associado a um baixo custo de construção. A estratégia para manter o custo reduzido é utilizar somente tecnologias livres, desde o hardware até as ferramentas de software.

### **1.3 Organização do Trabalho**

Este trabalho está organizado em cinco capítulos:

No capítulo 2 é feito todo um referencial teórico sobre os conceitos envolvendo monitoramento da qualidade do ar, além das tecnologias necessárias para a construção da plataforma desenvolvida no trabalho.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada no trabalho. Serão apresentados os métodos e técnicas utilizadas para desenvolver os objetivos desta pesquisa.

No capítulo 4 serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com o uso da plataforma nos parques de Maringá – PR.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e possibilidades de trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Com base na revisão bibliográfica, este trabalho pretende contextualizar e demonstrar os conceitos mais importantes referentes ao monitoramento da qualidade do ar, bem como apresentar as tecnologias utilizadas para construção e implementação da plataforma de monitoramento desenvolvida.

### **2.1 Poluição Atmosférica**

Os processos industriais, a geração de energia termoelétrica, os veículos automotores e as queimadas são as maiores causas de injeção de gases tóxicos na atmosfera terrestre, sendo que muitos deles são totalmente prejudiciais a saúde humana, além de causar danos a fauna e a flora. A poluição atmosférica pode ser definida como qualquer substância com concentração suficiente para tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo as mais diversas formas de vida. Com isso, quando algum destes elementos em concentração inapropriada está presente no ambiente, é possível dizer que a qualidade do ar está baixa (Hodzic, 2012).

Para Kuehn (2014) existe relação entre a exposição aos poluentes atmosféricos e diversos efeitos negativos à saúde, como problemas respiratórios (asma, bronquite, enfisema pulmonar e câncer de pulmão) e cardiovasculares, sendo as crianças, os idosos e as pessoas que já apresentam doenças respiratórias as mais afetadas. O mesmo estudo aponta que a baixa qualidade do ar é responsável direta pela morte de mais de 7 milhões de pessoas ao redor do mundo.

#### **2.1.1 Principais Gases Poluentes**

Existem uma infinidade de gases que podem ser classificados como poluição atmosférica, pois de alguma forma, acabam comprometendo a qualidade do ar. Entretanto, determinadas substâncias são consideradas mais poluentes do que outras, pelo fato de apresentarem mais riscos tanto a saúde dos seres vivos quanto ao meio ambiente como um todo. Entretanto, diversos trabalhos científicos apontam o dióxido e o monóxido de nitrogênio, o ozônio, o monóxido de carbono e os materiais particulados, como os principais poluentes atmosféricos (Arhami et al. 2013)(Mao et al. 2013)(Karol et al. 2013).

Via de regra, os órgãos ambientais de cada país costumam estabelecer leis que determinam os gases considerados como poluição atmosférica, bem como os limites aceitáveis em nível nacional. No caso do Brasil, o Ministério do Meio Ambiente estabeleceu, por meio da resolução nº003/90, que as partículas totais em suspensão, o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, o ozônio e o dióxido de nitrogênio são as substâncias consideradas mais tóxicas para a atmosfera.

### **2.1.2 Dióxido de Carbono**

O dióxido de carbono, também conhecido como gás carbônico, é um composto químico gasoso, que não possui cheiro, cor e sabor, fato que dificulta sua detecção. Trata-se de uma substância de grande importância para manutenção da vida no planeta, pois é responsável por manter a superfície da Terra com uma temperatura média adequada, além de ser um componente importante no processo de fotossíntese das plantas. O CO<sub>2</sub> é usado com muita frequência em diversos tipos de processos industriais, como na produção de cimento, geração de eletricidade, fabricação de papel, extintores de incêndio, produção de refrigerantes, entre muitos outros (Jones et al. 2001).

No entanto, o que vem preocupando parte da comunidade científica não é a presença de dióxido de carbono, mas sim a alta concentração deste gás na atmosfera. Apesar de ser fundamental para a sobrevivência de boa parte das formas de vida, quando presente em grande quantidade, o CO<sub>2</sub> pode gerar muitos efeitos negativos ao equilíbrio ambiental. Além disso, os índices de poluição bateram todos os recordes em 2014, sendo que pela primeira vez na história foi alcançada a marca de 400 ppm de dióxido de carbono na atmosfera, confirmando a tese de que, apesar da adoção de medidas de redução da emissão de gases poluentes, nunca se gerou tanta poluição como nos dias de hoje (Yulsman 2014).

A medida de 400 ppm significa que, em cada milhão de moléculas de ar, existem quatrocentas de CO<sub>2</sub>. Desta forma, embora pareça uma porcentagem pequena para causar problemas ambientais, o dióxido de carbono possui grande capacidade de reter o calor irradiado pela superfície, gerando o chamado efeito estufa. Apesar do recorde de 400 ppm alcançado em 2014 ser relevante, o que mais preocupa é a tendência que ele indica, isso porque em 1960 a concentração de CO<sub>2</sub> era de apenas 315 ppm, e a previsão para o ano de 2050 é que esse valor ultrapasse 450 ppm, muito acima do considerado seguro, não sendo

possível prever com exatidão as reais consequências ambientais que este aumento poderá ocasionar (Grimes-Casey et al. 2009).

O dióxido de carbono, embora não seja tão tóxico como outros gases presentes na lista do ministério do meio ambiente, ele também pode oferecer perigo a saúde da população e ao meio ambiente. Este gás é emitido principalmente pelas indústrias e pelos veículos automotores, sendo considerado um dos principais responsáveis pelo efeito estufa, além de ocasionar muitos problemas fisiológicos ao ser humano, como dores de cabeça, problemas respiratórios, dificuldades de concentração, comprometer o desempenho de atletas, aumentar o risco de câncer, e levar até mesmo a morte em casos mais extremos (Marc et al. 2015).

Além disso, a concentração de 400 ppm de dióxido de carbono apontada anteriormente não se aplica aos grandes centros urbanos, onde a queima de combustíveis fósseis realizadas por automóveis e indústrias é mais intensa. Nestes locais, este valor costuma ser bem mais elevado. Segundo Zogla e Blumberga (2010), a concentração ideal de CO<sub>2</sub> em ambientes externos deve ser entre 450 e 550 ppm, embora este limite possa variar de acordo com determinadas características regionais. Entretanto, estudos apontam que a partir de 600 ppm, ainda que de forma sutil, o ser humano começa a sentir os primeiros efeitos do dióxido de carbono em seu organismo (Satish et al. 2012).

Outra característica importante do dióxido de carbono é o fato dele ser considerado um excelente indicador de qualidade do ar, pois quando sua concentração em determinado ambiente está alta, existe uma forte tendência de diversos outros gases poluentes também se encontrarem em níveis elevados, principalmente o monóxido de carbono, que é extremamente tóxico ao ser humano. Desta forma, para estimar a qualidade do ar de uma maneira geral, não é necessário a aquisição de uma série de sensores específicos para monitoramento de cada tipo de gás, basta a instalação de um único equipamento capaz de fornecer a concentração de CO<sub>2</sub> que já será possível estimar a situação do ar (Ashok et al. 2014; Górka and Lewicka-Szczebak 2013).

## **2.2 Monitoramento da Qualidade do Ar**

O conceito de monitorar a qualidade do ar significa identificar a presença de substâncias tóxicas que possam estar presentes em um determinado ambiente, bem como

verificar se estas se encontram em quantidades consideradas fora dos padrões preestabelecidos. Com a evolução da ciência nos últimos anos, foram desenvolvidos muitos métodos analíticos capazes de medir, com precisão, a concentração dos mais diversos tipos de poluentes. Entretanto, apesar dos bons resultados, existem alguns problemas no uso desta abordagem, pois toda a análise precisa ser feita em laboratório, com equipamentos modernos e profissionais capacitados, além de ser necessário tempo para que os testes sejam finalizados, não possibilitando medições em tempo real. Devido a estas desvantagens, o uso de sensores eletrônicos nas atividades de monitoramento ambiental pode ser uma excelente alternativa (Shamah e Cunningham 2011).

Os sensores são dispositivos capazes de interagir com o ambiente e medir instantaneamente diversos tipos de grandezas físicas, tais como temperatura, pressão, concentração de gases tóxicos, umidade, luminosidade, entre outros. Em geral, estes equipamentos atuam transformando partes de uma grandeza física em um sinal elétrico que pode ser interpretado por determinados tipos de equipamentos eletrônicos, como microcontroladores por exemplo (Bezerra 2014).

### **2.2.1 Sensor MG811**

Devido ao avanço da engenharia eletrônica, muitos dispositivos (microcontroladores, placas de expansão, etc.) que inicialmente chegavam ao mercado com alto valor de revenda, começaram a baratear, havendo uma popularização dos mesmos. Dentro desta linha de componentes mais acessíveis, a Hanwei Eletronics lançou a série de sensores MQ, com capacidade de medir a concentração de diversos tipos de gases comumente encontrados no meio ambiente. Existem cerca de 25 sensores desta categoria, sendo cada um sensível a um determinado gás específico.

O fabricante diferencia os diversos tipos de sensores por um número que é especificado juntamente com o seu nome. Como exemplo, é possível citar o sensor MQ7, responsável por medir a concentração de monóxido de carbono, ou então o MQ131 que detecta a presença de ozônio no ambiente. Geralmente cada dispositivo da série MQ também possui cores e formas diferentes, entretanto não é aconselhado utilizar estas características na identificação, visto que não existe um padrão fixado como acontece, por exemplo, com os resistores. Que possui um padrão internacional de cores.

Dentro desta série de dispositivos da Hanwei Electronics, o mais interessante para este trabalho é o sensor MG811, que por ser extremamente sensível ao dióxido de carbono, possui a capacidade de medir a concentração deste gás no ambiente. Ao contrário da maioria dos sensores da série MQ que precisam de uma tensão de 5V para seu correto funcionamento, o MG811 alcançará seu melhor desempenho se for ligado a uma tensão de 6V. Outra característica importante deste dispositivo é que ele precisa estar em funcionamento por 5 minutos (tempo para aquecimento interno) para que possa ter uma precisão adequada (Datasheet MG811, 2015). A Figura 1 mostra uma foto do sensor MG811 com um amplificador de sinal:

Figura 1 – Sensor MG811



**Fonte:** Hanwei Electronics, 2015

O MG811 não deve ser exposto diretamente ao sol quando estiver em funcionamento, sendo que sua precisão é melhorada quando está em temperatura ambiente (28°C em média). Também é necessário uma corrente elétrica de 200mA, valor superior ao fornecido pela maioria dos microcontroladores, sendo necessário uma fonte de alimentação externa. Além disso, é necessário que o algoritmo de interpretação seja corretamente implementado no microcontrolador, seguido de um processo de calibragem. Seguindo estas condições, o MG811 costuma ter um ótimo desempenho no monitoramento de dióxido de carbono, não tendo uma margem de erro superior a 5% (Chiang et al. 2016).

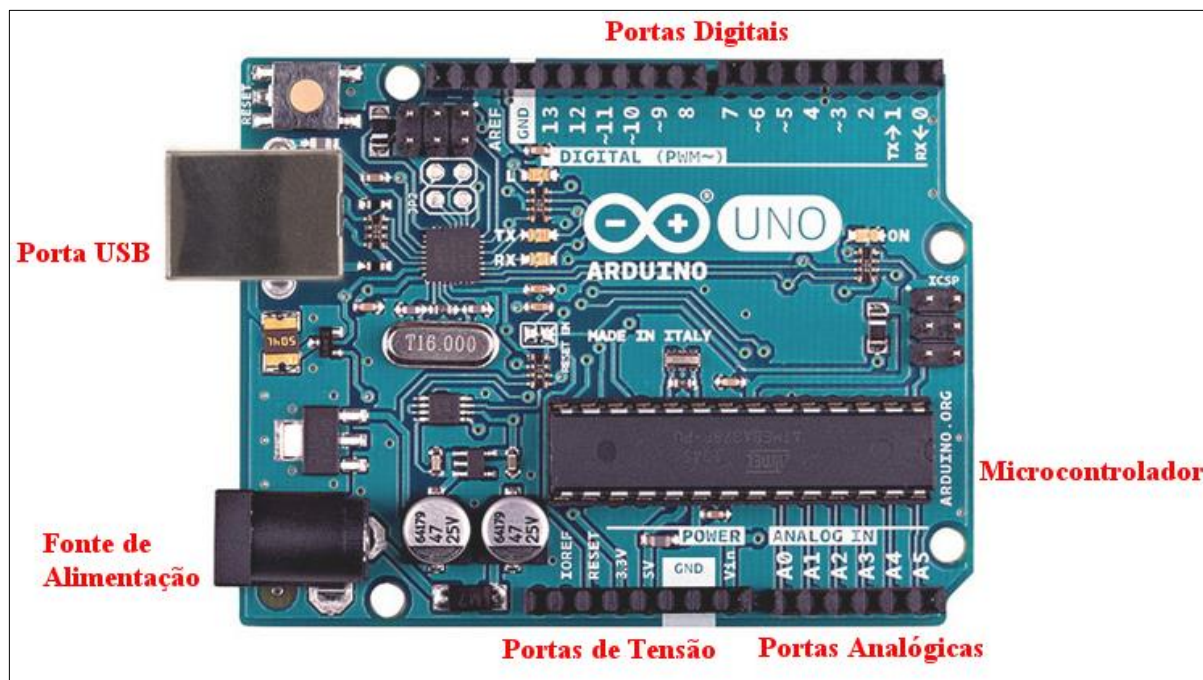
### 2.2.2 Arduíno

O Arduíno foi desenvolvido no Interaction Design Institute na cidade de Ivrea, na Itália, no ano de 2005, pelo professor Massimo Banzi. Seu objetivo era elaborar uma plataforma eletrônica de fácil utilização e baixo custo, de tal forma que seus alunos de design, mesmo com pouca experiência em programação, pudessem automatizar seus projetos acadêmicos sem dificuldades. Em pouco tempo, o Arduíno se popularizou e superou todas as expectativas iniciais de Banzi, sendo utilizado atualmente até mesmo fora do ambiente acadêmico, em processos de automação residencial e industrial, além de continuar sendo uma excelente ferramenta na introdução de conceitos de microcontroladores para alunos das mais diversas áreas, como engenharia, computação, entre outras (Evans e Hochenbaum 2013).

Conceitualmente, o Arduíno consiste em uma plataforma de prototipação eletrônica, formada por uma placa, com um microcontrolador Atmega, memória flash e portas analógicas e digitais, que permitem a comunicação com diversos dispositivos externos, como sensores, relês, motores, etc. Além do hardware, a plataforma também é formada por um ambiente de software, que possibilita a programação do dispositivo, utilizando para isso uma série de comandos baseados na linguagem C++. O Arduíno foi implementado com tecnologia Java, possuindo total compatibilidade com os principais sistemas operacionais do mercado, como Windows, Linux e Mac, sendo que poucas configurações precisam ser feitas para que o programador já possa fazer uso de todos os recursos disponíveis (Mcroberts 2013). A Figura 5 mostra uma foto da placa Arduíno:



Figura 2 – Placa do Arduíno



Fonte: Arduíno, 2018

Como é possível observar na Figura 2, a placa do Arduíno possui uma série de portas digitais (na parte superior) e analógicas (na parte inferior), que possibilitam a conexão e o controle de dispositivos externos. A porta USB permite a comunicação com um computador, onde, por meio de uma interface de desenvolvimento, é possível criar e carregar as instruções na memória flash do microcontrolador. Para alimentar todo o sistema, deve-se conectar uma fonte de alimentação que forneça de 6V à 20V, entretanto, um melhor desempenho é alcançado quando a tensão varia entre 7V e 12V. Com relação ao processamento, o Arduíno possui um microcontrolador Atmega, cujo o clock é de 16Mhz (Arduíno 2018).

Desde o seu lançamento, o Arduíno vem sendo utilizado com muita frequência na construção de plataformas de monitoramento, pois suas portas digitais e analógicas possibilitam que inúmeros tipos de sensores e atuadores possam ser conectados na placa e interpretados pelo microcontrolador Atmega. Além disso, por meio de shields, é possível que funcionalidades importantes sejam acrescentadas, como Wi-Fi, módulo de cartão de memória para armazenamento, conexão com a internet via GSM, entre outros (Murad et al. 2017). Devido a todas estas possibilidades, grupos de pesquisa tem usado o Arduíno com

muito sucesso em processos de monitoramento nos mais diversos ambientes, inclusive alguns mais inóspitos, como oceanos e vulcões (Altamirano-Santillán et al. 2017)(Nizar et al. 2017).

### **2.2.3 Raspberry Pi**

O Raspberry Pi foi criado em 2012, na Inglaterra, por um grupo de pesquisadores liderados por Eben Upton, idealizador do projeto e também professor de computação da Universidade de Cambridge. Como resultado de quase seis anos de trabalho, Upton e sua equipe conseguiram criar o então chamado Raspeberry Pi, considerado o menor e mais barato computador do mundo, com dimensões similares a de um cartão de crédito com um custo aproximado de \$35.00 (trinta e cinco dólares). A ideia de ter um pequeno computador, que embora não tenha grande capacidade de processamento, é capaz de realizar diversas tarefas, como manipulação de planilhas eletrônicas, documentos de texto e até mesmo exibição de vídeos, fizeram do projeto um sucesso, fazendo com que milhões de placas fossem vendidas em todo o mundo (Upton e Halfacree 2014).

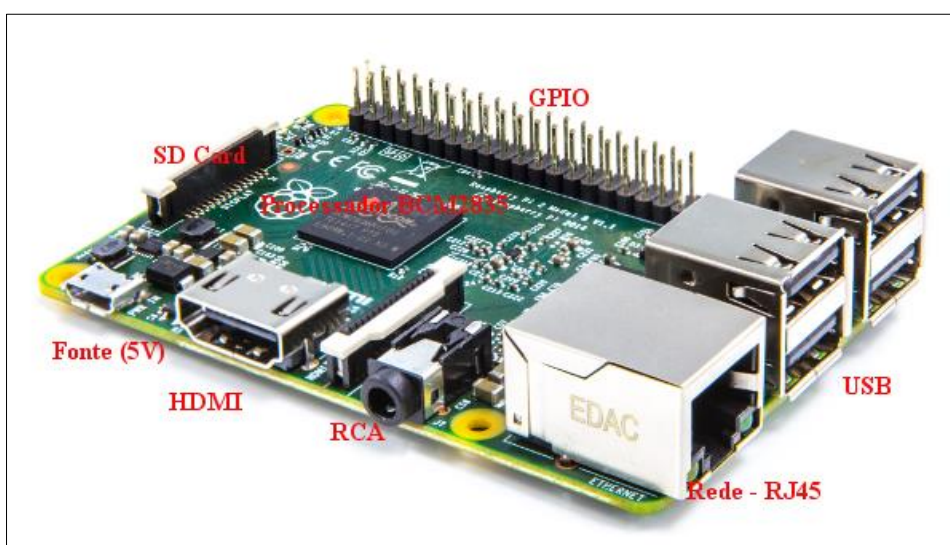
Embora seja pequeno e de baixo custo, o Raspberry Pi é um computador completo, capaz de ser conectado com diversos periféricos, tais como teclado, mouse, monitor e até mesmo impressora. O objetivo inicial de Upton era criar um dispositivo que motivasse jovens e crianças a desenvolverem habilidades em programação, pois vinha observando que os calouros do curso de computação estavam ingressando na universidade sem ter nenhum tipo de conhecimento prévio de alguma linguagem ou tecnologia de desenvolvimento de software. Entretanto, o Raspberry Pi superou as expectativas de seus criadores, sendo utilizado atualmente também para outros fins, como servidor de banco de dados, construção e gerenciamento de redes sensores, automação residencial e industrial, robótica, entre muitas outras funções (Upton e Halfacree 2014).

Com relação ao hardware presente no Raspberry Pi, ele é composto por um processador BCM2835, fabricado pela Broadcom, com tecnologia SoC (System-on-Chip), onde toda a unidade de processamento está encapsulada em um único chip. Dentro deste SoC, existe uma CPU (Central Processing Unit) ARM1176JZF-S de 32 bits, com clock de 700Mhz e uma unidade de processamento gráfico. A placa também possui uma memória RAM de 256MB ou 512 MB (conforme o modelo da plataforma, A ou B), além de 4 portas USB, onde podem ser conectados teclado, mouse, entre outros periféricos. Para

armazenamento não-volátil, o Raspberry Pi oferece um leitor para cartões de memória SD, e também uma entrada RJ45, caso seja necessário conexão com uma rede interna ou com a internet. Com relação aos recursos gráficos, a plataforma oferece duas saídas de vídeo, uma HDMI e outra RCA, que possibilitam a conexão com monitores ou aparelhos de TV (Raspberry Pi 2018).

Ainda que seu hardware seja limitado se comparado aos computadores mais modernos, o Raspberry Pi possui todas as características de um microcomputador tradicional, possuindo inclusive um sistema operacional próprio que permite ao usuário fazer uso dos seus recursos, tais como navegar na internet, manipular planilhas eletrônicas e até mesmo visualizar vídeos. Além destas funcionalidades, o Raspberry também possui 13 pinos, chamados de GPIO (General Purpose Input/Output), sendo 8 deles digitais, por meio dos quais é possível a conexão com dispositivos externos, como sensores, motores, etc. Diferentemente do Arduíno, nenhum pino analógico é encontrado na placa, havendo a necessidade de um conversor externo caso algum equipamento analógico precise ser anexado ao circuito. A alimentação da plataforma pode ser feita por meio de uma fonte com entrada micro-USB, que forneça tensão de 5 volts e uma corrente de pelo menos 700mA (Richardson e Wallace 2012). A Figura 7 mostra uma foto do Raspberry Pi, descrevendo seus principais componentes:

Figura 3 – Placa do Raspberry Pi



**Fonte:** Raspberry Pi, 2018

Como qualquer computador, o Raspberry Pi precisa de um sistema operacional para que seus recursos possam ser utilizados sem que os usuários precisem trabalhar em nível de hardware. Desta forma, uma equipe de desenvolvedores pertencentes à comunidade Debian, uma das distribuições Linux mais conceituadas do mundo, criaram o chamado Raspbian, um sistema operacional, baseado no Debian, feito especificamente para o Raspberry Pi (Upton e Halfacree 2014). Com o passar dos anos e o crescimento da plataforma, outros sistemas foram sendo desenvolvidos, sendo que em meados de 2015, até mesmo a Microsoft disponibilizou uma versão gratuita do Windows 10 totalmente compatível com Raspberry Pi (Raspberry Pi, 2018).

Com a popularização do Rasperry Pi, diversos grupos de pesquisa que trabalham com monitoramento ambiental começaram a utilizá-lo na construção de seus equipamentos, tendo em vista que suas portas possibilitam a conexão de uma ampla gama de dispositivos digitais. Contudo, o Arduíno possui melhores recursos de leitura de sensores, tendo em vista que não existe variação de tensão em suas portas, fato que aumenta a precisão. Desta forma, uma técnica que tem obtido bons resultados em estudos atuais, é a conexão do Raspebrry com o Arduíno, somando os recursos oferecidos pelas duas placas (Alwan e Prahald Rao 2017)(Alvarez-Campana et al. 2017).

#### **2.2.4 ZigBee**

Em meados de 2002, sentindo a necessidade de criação de um padrão de comunicação sem fio que pudesse ser usado em projetos de automação, independente do fabricante, fez com que um grupo de grandes empresas do setor de eletrônica, entre elas gigantes como Sansung, Sony e Philips, unissem forças com o objetivo de desenvolver uma tecnologia que atendesse esta demanda. Essa organização de empresas recebeu o nome de Alliance ZigBee, que após uma série de pesquisas conseguiu alcançar sua meta, implementando um padrão de comunicação conhecido no mercado atualmente como ZigBee (Bezerra, 2014).

O ZigBee é um padrão totalmente aberto, tendo sua especificação disponível detalhadamente no site da Alliance ZigBee, que atualmente conta com mais de 450 membros. Com o objetivo de garantir total compatibilidade, sempre que um novo

fabricante deseja implantar a tecnologia ZigBee em seus produtos, ele deve se associar a aliança, para que esta possa testar e posteriormente homologar os mesmos. Esse procedimento é necessário para evitar que padrões ZigBee paralelos comecem a surgir no mercado, comprometendo o objetivo inicial, que seria de garantir a comunicação de qualquer equipamento que seguisse as especificações. Desta forma, a Alliance ZigBee consegue assegurar total compatibilidade de comunicação sem fio dos produtos fabricados por qualquer um dos seus membros (ZigBee, 2018).

Com relação as características técnicas dos dispositivos baseados na tecnologia ZigBee, pode-se afirmar que operam na faixa ISM (Industrial Scientific and Medical), que não requer licença para funcionamento, incluindo as faixas de 2,4GHz (Global), 915Mhz (América) e 868Mhz (Europa). Sua taxa de transferência de dados é considerada baixa, variando entre 20kbps (868Mhz) e 250kbps (2,4GHz), com um raio de alcance variando de acordo com o equipamento utilizado na transmissão. Outra propriedade importante do ZigBee é seu baixíssimo consumo de energia. Para se ter um comparativo com outras tecnologias, enquanto uma bateria seria capaz de alimentar um dispositivo com Bluetooth por uma semana, se o ZigBee fosse utilizado esta bateria funcionaria por aproximadamente um ano, ou seja, consome quase 50 vezes menos energia (Kay, 2016).

Apesar de possuir baixa taxa de transmissão, o ZigBee é um protocolo muito indicado para plataformas de monitoramento que possuem sensores distribuídos em diversos pontos. Via de regra, dispositivos sensoriais não costumam trafegar grandes pacotes de dados na rede, e dependem de bateria para seu funcionamento. O fato do ZigBee ser capaz de transmitir até 250Kbps e possuir baixo consumo de bateria, tem aumentado a sua utilização por parte de grupos de pesquisa que trabalham principalmente na coleta de dados ambientais (Kumar e Hancke 2015).

### **2.2.5 Módulo Xbee**

O Xbee é um módulo, fabricado pela Maxstream, que inclui todo o hardware e software necessário para criação e implementação de uma rede ZigBee. Traçando um comparativo com uma rede de comunicação doméstica, pode-se dizer que um módulo Xbee está para o ZigBee assim como uma placa de rede está para uma rede cabeada padrão Ethernet. A Maxstream fabrica duas versões do Xbee, a versão padrão e a profissional,

sendo que estas se diferenciam principalmente no alcance máximo e no consumo de bateria.

Figura 4 – Módulo Xbee e Xbee-PRO



Fonte: Xbee, 2018

O tipo da aplicação é fundamental para determinar qual das duas versões do Xbee é a mais indicada, sendo que a grande diferença entre elas se resume principalmente em três características: Raio de alcance, consumo de bateria e custo. Enquanto o Xbee padrão possui um raio de alcance de até 100 metros e potência de sinal de 1 mWatts, a sua versão profissional é capaz de transmitir até 1600 metros, com potência de sinal de 60 mWatts, o que torna seu custo e consumo de bateria consideravelmente maiores (Dominguez-Morales et al. 2011).

Além da questão do versionamento entre Xbee e Xbee-PRO, com o passar do tempo o fabricante efetuou diversas melhorias em todo o hardware do módulo, gerando duas séries distintas, o Xbee/Xbee-PRO série 1 e o Xbee/Xbee-PRO série 2. A série 2 se caracteriza por apresentar muitas vantagens com relação a serie 1, como capacidade de trabalhar com redes de topologia Mesh, menor consumo de bateria e acréscimo de até 20% no raio de alcance, sendo a melhor opção em quase todos os tipos de aplicações. Apesar de

serem produzidos pela Maxstream e serem muito parecidos fisicamente, não é possível que uma mesma rede contenha módulos Xbee de séries distintas, pois elas não são compatíveis entre si (Faludi, 2011).

O Xbee pode ser usado em qualquer tipo de plataforma de monitoramento que precise efetuar medidas em locais distintos simultaneamente. Por meio de seus pinos de entrada, diversos tipos de sensores podem ser conectados ao módulo, replicando os dados coletados para um nó mestre da rede, ou até mesmo para um computador servidor. A possibilidade de implementação de uma rede Mesh, permite que nós intermediários sirvam como roteadores, aumentando a segurança da rede no caso de falhas em determinado nó (Lee e Lin 2016).

### **2.3 Mineração de Dados**

A partir da década de 1980, quando começaram a surgir sistemas de informação e Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) mais seguros e estáveis, as organizações começaram a informatizar suas operações, armazenando praticamente todos os seus dados em um banco de dados central. Com isso, o objetivo das empresas era manter suas informações em segurança, bem como ter facilidade na realização dos mais variados tipos de consultas que pudessem auxiliar no seu processo de tomada de decisões. Com o desenvolvimento da linguagem SQL, os recursos para criação de consultas se tornaram mais poderosos, fazendo com que os SGBD's ganhassem ainda mais espaço no mercado, tornando-se uma tecnologia praticamente unanime no quesito armazenamento e recuperação de dados (Silberschatz et al. 2006).

Embora o SQL seja muito poderoso, ele é uma linguagem estruturada, que suporta operações onde o usuário pode selecionar tabelas e colunas específicas ou informações relacionadas à junção de tabelas com base em campos em comum. Desta forma, o usuário precisa saber exatamente o que deseja pesquisar, para que então possa passar os parâmetros adequados ao SGBD e obter o resultado esperado. Entretanto, nem sempre o objetivo será encontrar registros que estão simplesmente armazenados no banco de dados, como uma listagem de clientes que estão ativos por exemplo. Em casos mais complexos e que envolvem descobrimento de padrões, a linguagem SQL torna-se pouco efetiva.

Dentro deste contexto, como as organizações começaram a ter praticamente todas as suas transações armazenadas em grandes bancos de dados, simples consultas feitas por meio da linguagem SQL já não eram mais suficientes, pois as empresas sentiam necessidade de obter informações mais complexas e subjetivas, como perfil dos seus clientes, combinação de produtos mais vendidos, projeção de vendas futuras, etc. Nestes casos, o objetivo seria literalmente descobrir padrões dentre os registros armazenados, de forma que estas informações geradas pudessem auxiliar os gestores na tomada de decisões estratégicas de suas organizações. Esta técnica de buscar padrões em grandes bancos de dados na busca de informações úteis para determinado grupo de interessados é denominada mineração de dados (Navathe e Elmasri 2011).

Embora a mineração de dados seja mais utilizada no meio organizacional, como forma de auxiliar no planejamento estratégico e na tomada de decisões, diversos outros segmentos também começaram a fazer uso deste tipo de tecnologia. Nos últimos anos, vem se tornando cada vez mais comum a utilização de ferramentas mineradoras em áreas como o esporte, medicina, engenharia, etc. Isso se deve muito a versatilidade deste tipo de técnica, que pode ser usada não apenas para identificar padrões, mas também efetuar previsões, otimizações e classificações de processos (Doña et al. 2015)(Jelinek et al. 2014).

Diversos trabalhos demonstram a utilização de mineração de dados em segmentos distintos do empresarial. Como exemplo, é possível citar o meio esportivo, onde algumas seleções de futebol utilizam técnicas de data mining para estabelecer o padrão de jogo de determinados adversários, obtendo um conhecimento valioso que pode ser aplicado durante as partidas (Jelinek et al. 2014). Na área de monitoramento ambiental também é possível fazer uso de técnicas de mineração, seja para determinar a qualidade da água, do ar e até mesmo detectar áreas de desmatamento (Doña et al. 2015)(Schneider 2012).

## **2.4 Trabalhos Relacionados**

Alguns trabalhos científicos que resultaram no desenvolvimento de plataformas de monitoramento da qualidade do ar foram encontrados, cada um contendo suas características específicas, bem como vantagens e desvantagens. Desta forma, é possível citar a arquitetura proposta por um grupo de pesquisa indiano, que conectou sensores de



dióxido de carbono, umidade, temperatura e dióxido de nitrogênio com um microcontrolador Arduíno, que por meio de uma conexão sem fio enviava os dados ao servidor. Com isso, é possível que os usuários possam verificar os níveis de poluição online. Neste caso, havia apenas um ponto de coleta, não chegando a ser formada uma rede sensor sem fio, reduzindo os custos de construção do projeto (Suganya e Suseendhar 2014).

Uma segunda plataforma, com mais recursos que a anterior, também foi desenvolvida por um grupo de pesquisa indiano. Neste caso, uma rede sensor sem fio, com capacidade de monitorar dióxido de carbono, umidade, temperatura e luminosidade foi criada. Os dados são enviados para computadores clientes, onde os usuários conseguem visualizar instantaneamente os dados coletados pelos sensores (Tayade et al. 2015). Este projeto é capaz de monitorar diversos pontos, mas sua rede trabalha com comunicação wireless tradicional, que possui um alto consumo de bateria, além de não ser possível trabalhar com rede mesh. Além disso, não existem mecanismos mais avançados que auxiliem os usuários a analisarem mais detalhadamente os índices dos gases coletados.

Um grupo de pesquisa da Universidade de Monterrey, no México, também desenvolveu a sua versão de plataforma para monitoramento de dióxido de carbono, melhorando alguns quesitos que não foram tratados no projeto anterior. Os mexicanos construíram uma rede sensor sem fio, com sensores de CO<sub>2</sub>, umidade e temperatura, utilizando somente tecnologias livres e de baixo custo. Mas o grande diferencial foi a utilização do protocolo de comunicação ZigBee, que possui um consumo energético muito baixo, dando maior autonomia ao sistema. O objetivo principal do grupo era monitorar em online a concentração de CO<sub>2</sub> nas indústrias da região, sendo que os dados fornecidos pelos sensores poderiam ser visualizados por meio de uma interface desenvolvida com a linguagem de programação C#, da Microsoft (Escorza e Guedea 2014).

Entretanto, de todas as plataformas pesquisadas, a que obteve maior destaque foi o CitySee, um projeto feito na Universidade de Tsinghua, na China, onde se desenvolveu uma rede sensor sem fio com cerca de 1196 nós, com capacidade para monitoramento da concentração de CO<sub>2</sub> por quase toda a cidade de Wuxi, que vinha apresentando sérios problemas com a qualidade do seu ar. Por ser uma rede tão grande, o objetivo principal do grupo de pesquisa era implementar um complexo sistema de gerenciamento dos dados na rede, deixando inclusive em segundo plano o monitoramento de dióxido de carbono em si.

O CitySee utilizou tecnologia proprietária no desenvolvimento do projeto, o que deixou seu custo muito elevado, mas as metas do grupo foram alcançadas com sucesso. (Xufei et al. 2012).

Outra plataforma desenvolvida no intuito de monitorar a qualidade do ar foi proposta por Alhmiedat e Samara (2017), onde quatro sensores MQ-135 foram conectados por meio de módulos Xbee Series 2, formando uma rede sensor sem fio. Os dados ficam armazenados em um servidor central, que gera determinados gráficos sobre os níveis de poluição do ambiente. Um dos objetivos principais do trabalho é efetuar ajustes nos componentes do projeto, de forma que o monitoramento seja realizado com o mínimo de consumo da bateria.

Já o trabalho proposto por Abraham e Xinrong (2016) também utiliza o protocolo ZigBee juntamente com o módulo Xbee, formando uma rede de sensores com capacidade de monitorar seis gases poluentes simultaneamente, mas utilizando apenas tecnologias que tenham baixo custo. O trabalho também propõe um método de calibração dos sensores, de forma que a precisão das medidas realizadas sejam comparáveis a de dispositivos comerciais, que possuem alto valor de aquisição.

No Brasil, não foram encontrados muitos trabalhos científicos propondo mecanismos de monitoramento da qualidade do ar como na China e outros países. Entretanto, é possível encontrar algumas iniciativas em determinadas capitais, como em Recife por exemplo, onde uma parceria entre a universidade local e a prefeitura, possibilitou implantar uma plataforma capaz de medir a qualidade do ar em alguns pontos considerados críticos da cidade. Para isso, uma série de sensores efetuam medições da concentração de alguns gases e enviam para uma central, onde os dados são disponibilizados para a comunidade por meio de um site. Entretanto, foram utilizadas diversas tecnologias proprietárias, fazendo com que o custo para implantação de apenas 4 pontos de coleta chegasse próximo de 300mil reais (Oliveira, M., et. al, 2011).

No Paraná, segundo o órgão ambiental local, a única cidade que efetuava algum tipo de monitoramento da qualidade do ar é Curitiba e sua região metropolitana. Algumas cidades importantes, com grande concentração de indústrias e veículos, como Londrina, Maringá, Cascavel, entre outras, não fazem nenhum tipo de controle neste sentido.

Contudo, ao final de 2016, o governo encerrou o projeto, fazendo com que o estado não tenha nenhuma iniciativa pública de monitoramento da qualidade do ar (IAP, 2018).

### 3. METODOLOGIA

Analisando os diversos trabalhos da área de monitoramento ambiental, principalmente os que propõe mecanismos para monitorar poluição atmosférica, é possível observar que cada um deles possui um foco específico. No tópico 2.4, onde são apresentados alguns artigos relacionados, percebe-se claramente a distinção de objetivos de cada projeto, que varia entre otimizar consumo de bateria, aumento de precisão nas medidas, desenvolvimento de técnicas para otimizar o gerenciamento da rede, redução de custos, entre outros.

Dentro deste contexto, observou-se que a maioria dos projetos, em virtude de seus diversos objetivos, acabam retornando apenas as medidas feitas pelos sensores em tempo real, não contendo nenhum tipo de ferramenta para analisar os dados com mais profundidade, buscando padrões, horários mais críticos, etc. Com isso, é possível perceber que existe uma lacuna não tratada pelos grupos de pesquisa, que seria o acréscimo de recursos de consulta, análise e mineração de dados, possibilitando que sejam gerados conhecimento e informações que poderão ser utilizados por pesquisadores e ambientalistas em seus estudos da qualidade do ar.

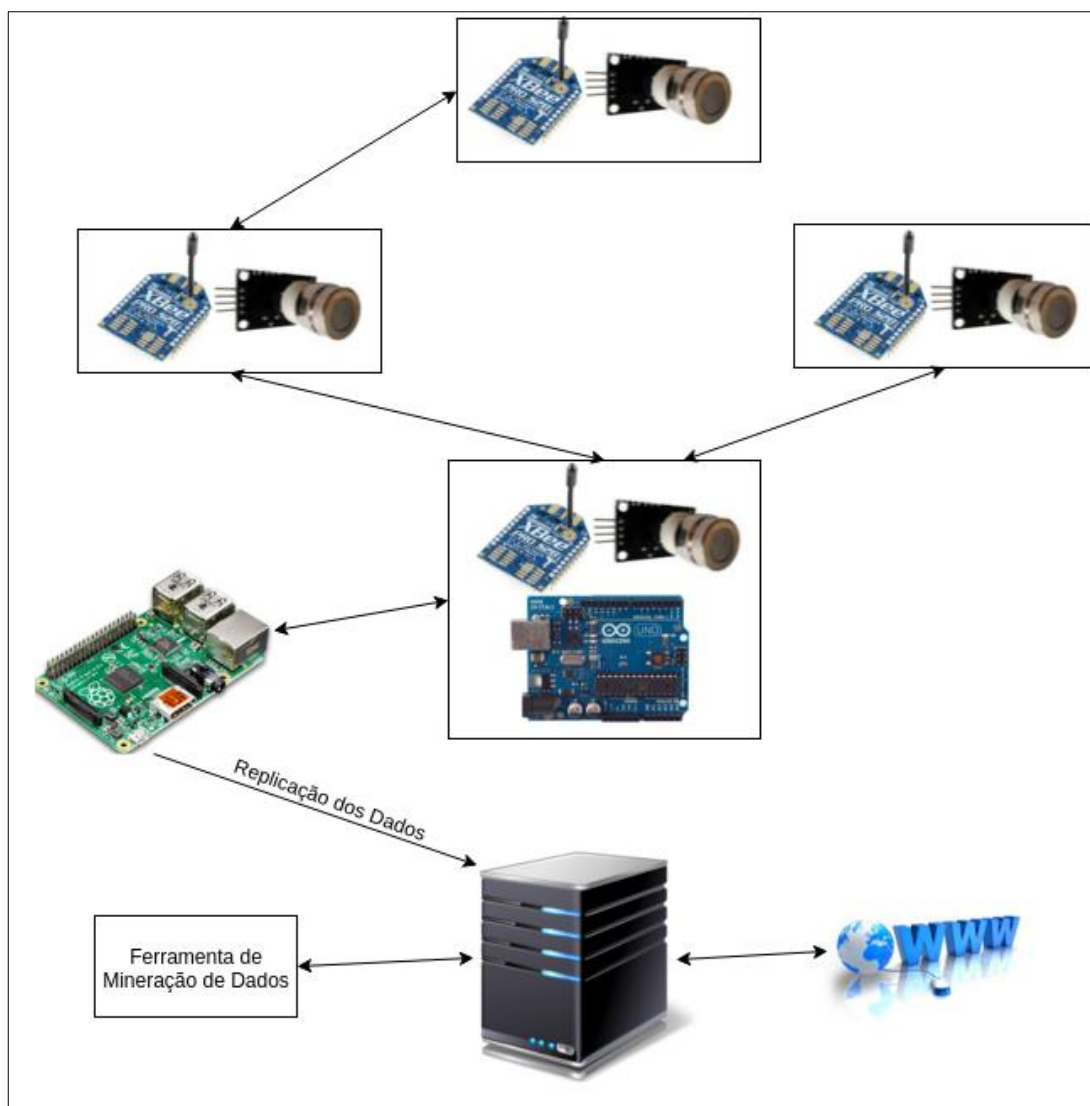
A plataforma que foi desenvolvida neste trabalho teve como objetivo contribuir justamente neste ponto, sendo capaz não somente de medir a qualidade do ar de determinado ambiente, mas também armazenar, analisar e disponibilizar estes dados em tempo real, de forma que possam ser facilmente visualizados. Embora não seja o objetivo principal do projeto, foram utilizadas apenas tecnologias livres, objetivando deixar o seu custo de construção o mais baixo possível.

#### 3.1 Arquitetura da Plataforma

A plataforma de monitoramento de qualidade do ar proposta é composta por uma série de componentes de hardware e software, que foram integrados de forma que cumpram os requisitos propostos. De forma geral, o projeto é formado por sensores de dióxido de carbono MG811, módulos Xbee-PRO Série 2, microcontrolador Arduíno, minicomputador Raspberry Pi e um computador com a função de servidor central. Já no contexto de software, foram utilizadas a linguagem de programação Java e PHP, além do

banco de dados MySQL e da suíte de aplicativos Pentaho. A Figura 5 ilustra a arquitetura geral da plataforma:

Figura 5 – Arquitetura geral da plataforma



De forma abstrata, o funcionamento da plataforma pode ser resumido dentro do seguinte fluxo:

1 – Os sensores MG811 estão conectados com módulos Xbee. Desta forma, logo após efetuarem a medida da concentração de dióxido de carbono, transmitem os dados para o nó central.

2 – O nó central possui um módulo Xbee para receber os sinais enviados pelos sensores. Em seguida o microcontrolador Arduíno, por meio de seu algoritmo, interpreta os dados recebidos e solicita que o Raspberry Pi armazene os mesmos em seu banco de dados MySQL.

3 – O banco de dados MySQL presente no Raspberry Pi replica todos os seus registros para o banco de dados MySQL presente no servidor central, que possui mais recursos computacionais.

4 – O servidor central possui as ferramentas para consultar, minerar e disponibilizar os dados coletados para os usuários.

### 3.2 Componentes da Plataforma

A plataforma proposta neste trabalho foi construído para medir a qualidade do ar em até quatro pontos simultaneamente, embora esse número possa ser aumentado facilmente mediante aquisição de mais equipamentos. Desta forma, foram utilizados quatro sensores de dióxido de carbono MG811, quatro módulos Xbee Series 2, um microcontrolador Arduíno UNO, um Raspberry Pi modelo B+, quatro baterias de 9V e um computador desktop como servidor. Para o desenvolvimento do sistema de consulta e exibição de dados foram utilizadas as linguagens de programação Java e PHP, juntamente com o banco de dados MySQL. A mineração de dados foi implementada com a suíte Pentahoo. O Quadro 1 resume a quantidade e a função de cada tecnologia utilizada na construção do projeto:

Quadro 1 – Componentes de Hardware e Software utilizados na plataforma

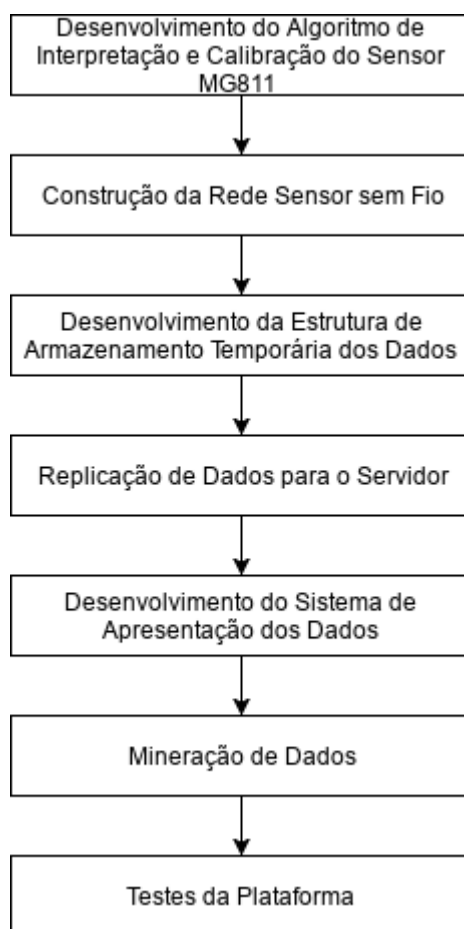
| Componente    | Quantidade | Descrição   |
|---------------|------------|---|
| MG811         | 4          | Sensor para medir concentração de dióxido de carbono  |
| Xbee Series 2 | 4          | Módulo para comunicação entre os sensores   |
| Arduíno UNO   | 1          | Microcontrolador responsável por interpretar os sinais elétricos enviados pelos sensores e transformar em concentração de CO <sub>2</sub> em PPM. |
| Raspberry Pi  | 1          | Minicomputador responsável por armazenar as concentrações de CO <sub>2</sub> interpretadas e enviadas pelo Arduíno em seu banco de dados MySQL    |
| Bateria de 6V | 4          | Bateria responsável por alimentar os nós sensores   |

|          |   |   |
|----------|---|---|
| Java     | - | Linguagem de programação utilizada na implementação do sistema de consulta de dados.              |
| PHP      | - | Linguagem de programação utilizada na implementação do sistema WEB de exibição de dados públicos. |
| Pentahoo | - | Suíte de aplicativos utilizada para minerar os dados.   |
| MySQL    | - | Banco de dados utilizado no armazenamento.  |

### 3.3 Etapas de Desenvolvimento da Plataforma

A construção da plataforma de monitoramento da qualidade do ar envolve a utilização e conexão de diversos dispositivos de software e hardware, o que acaba aumentando a complexidade de todo o processo. Desta forma, com o objetivo de organizar o trabalho, o projeto foi subdividido em 7 etapas, conforme mostrado na Figura 6:

Figura 6 – Etapas de desenvolvimento da plataforma

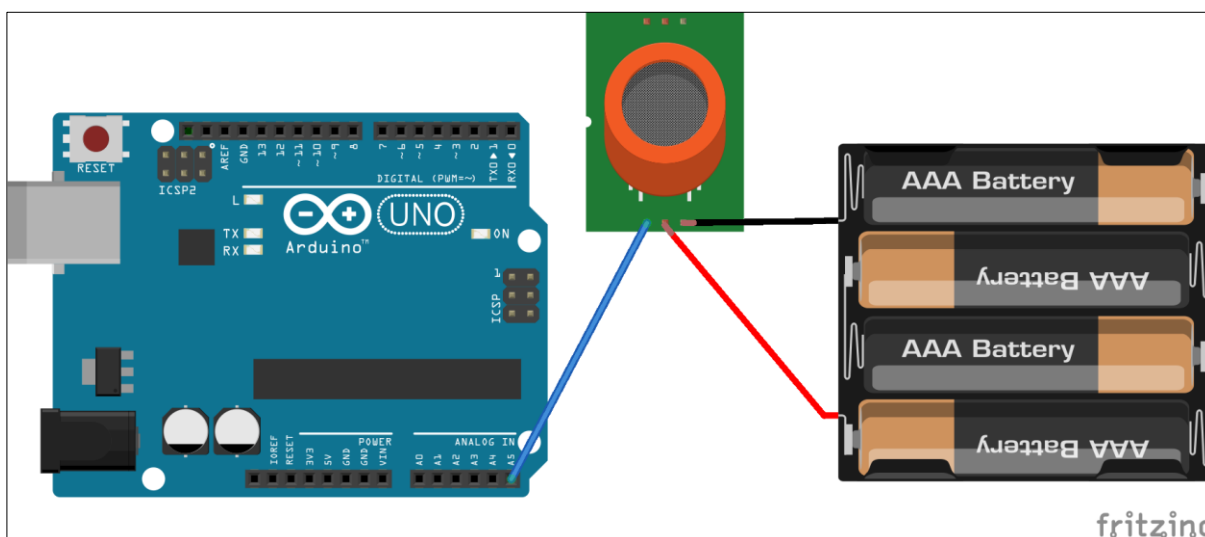


### 3.3.1 Desenvolvimento do Algoritmo de Interpretação e Calibração do Sensor MG811

O primeiro passo para construção da plataforma consiste em configurar corretamente o funcionamento do sensor MG811, pois ele será o responsável direto por medir a concentração de dióxido de carbono no ambiente. Segundo dados fornecidos pelo fabricante, o sensor deve receber uma tensão de entrada de 6V, e conforme ele for exposto ao CO<sub>2</sub>, a sua resistência interna será aumentada, gerando uma tensão de saída proporcionalmente menor do que na entrada. Desta forma, por meio desta variação na tensão é possível determinar a concentração de CO<sub>2</sub> (Datasheet MG811 2018).

Para interpretar esta mudança de tensão elétrica que ocorre no MG811, é necessário que ele seja conectado a um microcontrolador que possua implementado em sua memória um algoritmo com as especificidades necessárias para converter sinais elétricos do sensor em concentração de dióxido de carbono. No caso deste projeto, seguindo a tendência de outros trabalhos publicados recentemente, foi utilizado o microcontrolador Arduino, que possui portas analógicas para leitura da variação de tensão, bem como suporte a linguagem C, que fornece os recursos necessários para o desenvolvimento do algoritmo (Pedersen et al. 2017). A Figura 7 mostra o esquema de conexão entre o MG811 e o Arduino:

Figura 7 – Esquema de Conexão entre o MG811 e o Arduino





Analisando o circuito apresenta na Figura 7, observa-se que o MG811 foi ligado a uma bateria externa, não sendo alimentado diretamente pelo Arduíno. Isso foi necessário devida a sua demanda de corrente ser superior a 80mA, valor máximo que pode ser oferecido pelas portas analógicas do microcontrolador, sob pena de queima dos dispositivos se esse cuidado não for tomado. Além disso, o fornecimento da tensão correta aumenta o desempenho do equipamento. Outro fator importante que também pode melhorar a precisão do sensor é ligá-lo pelo menos 5 minutos antes que as medidas comecem a ser realizadas, pois ao ser aquecido por este intervalo de tempo, a margem de erro é reduzida (Datasheet MG811 2018).

Para facilitar o processo de leitura do MG-811 é necessário que um circuito de condicionamento de sinal seja inserido entre o sensor e a entrada analógica do microcontrolador. Desta forma, a tensão de saída do sensor em ar limpo (tipicamente 400 ppm de CO<sub>2</sub>) está na faixa de 200mV, enquanto que para 10000 ppm a saída será muito próxima de zero, pois a resistência interna estará bem mais alta que o padrão. Além disso, quando a concentração de CO<sub>2</sub> é superior a 400ppm, a tensão de saída (Vs) é linear ao logaritmo comum da concentração de CO<sub>2</sub>. Considerando estes dados fornecidos pelo fabricante, a implementação do algoritmo de leitura deve seguir a seguinte equação:

$$V_s = V_0 + \Delta V_s / (\log 400 - \log 1000) * (\log C_{CO_2} - \log 400)$$

Nesta equação, V<sub>0</sub> é a tensão de entrada atual, enquanto que o Δv<sub>s</sub> é a diferença da tensão fornecida pelo sensor quando a concentração de dióxido de carbono está em 400 e 1000 ppm, o que geralmente resulta em valores próximos a 30mV. Contudo, estes são dados padronizados, sendo que diversos fatores, como umidade, temperatura e até mesmo o material que o amplificador de sinal foi feito, podem interferir no resultado das medidas e conseqüentemente na precisão. Por este motivo, é fundamental que um processo de calibração seja realizado após o MG811 ser conectado ao Arduíno (Abraham et al. 2016).

Para calibrar o sensor, é preciso saber com exatidão a concentração de dióxido de carbono, pois esta informação é necessária para que, por meio de um processo de comparação, o algoritmo de interpretação presente no microcontrolador possa ser ajustado. Outro procedimento que pode melhorar a precisão é fazer essas medidas de base para calibração no local onde os sensores vão ser utilizados, pois a umidade, a temperatura, entre outros fatores, podem afetar os parâmetros de configuração. Também é aconselhado coletar medidas em horários cuja a concentração de CO<sub>2</sub> costume variar bastante, para que o sensor possa ser ajustado nos diferentes níveis de qualidade do ar (Chiang et al. 2016).

Com base nestas informações, para calibração da plataforma, o MG811 foi conectado ao Arduíno, conforme o esquema apresentado na Figura 7, e colocado ao lado de um sensor GL-T25GL001, fabricado pela Globus, uma empresa de grande renome no mercado, presente em quatro continentes e conhecida por prestar serviços a grandes organizações, como Carrefour, Nokia, Gerdau, entre outros. O GL-T25GL001 já vem calibrado de fábrica, sendo capaz de medir os níveis de CO<sub>2</sub> no ambiente com precisão superior a 95%. Com dos dois sensores lado a lado, medidas foram realizadas em horários com alto e baixo fluxo de veículos, para que a variação nos níveis de dióxido de carbono possibilitasse configurar a plataforma com a concentração de dióxido de carbono em níveis distintos, o que melhora o grau de confiabilidade e a precisão dos resultados (Chiang et al. 2016).

Na Figura 8 é mostrado o início do algoritmo de interpretação do MG811 (o algoritmo completo encontra-se no anexo 7.1), onde estão localizados os parâmetros que devem ser ajustados no processo de calibração. Desta forma, quando a concentração de dióxido de carbono estava em um ponto de medida baixo (com 494 ppm), a tensão de saída era de 0.1683, e em um ponto relativamente mai alto, a tensão foi de 0.1124. Além disso, é gravado no banco de dados uma medida a cada 5 segundos, sendo que para gerar uma medida final é feita a média de 10 coletas realizadas pelos sensores.

Figura 8 – Algoritmo de interpretação do MG811

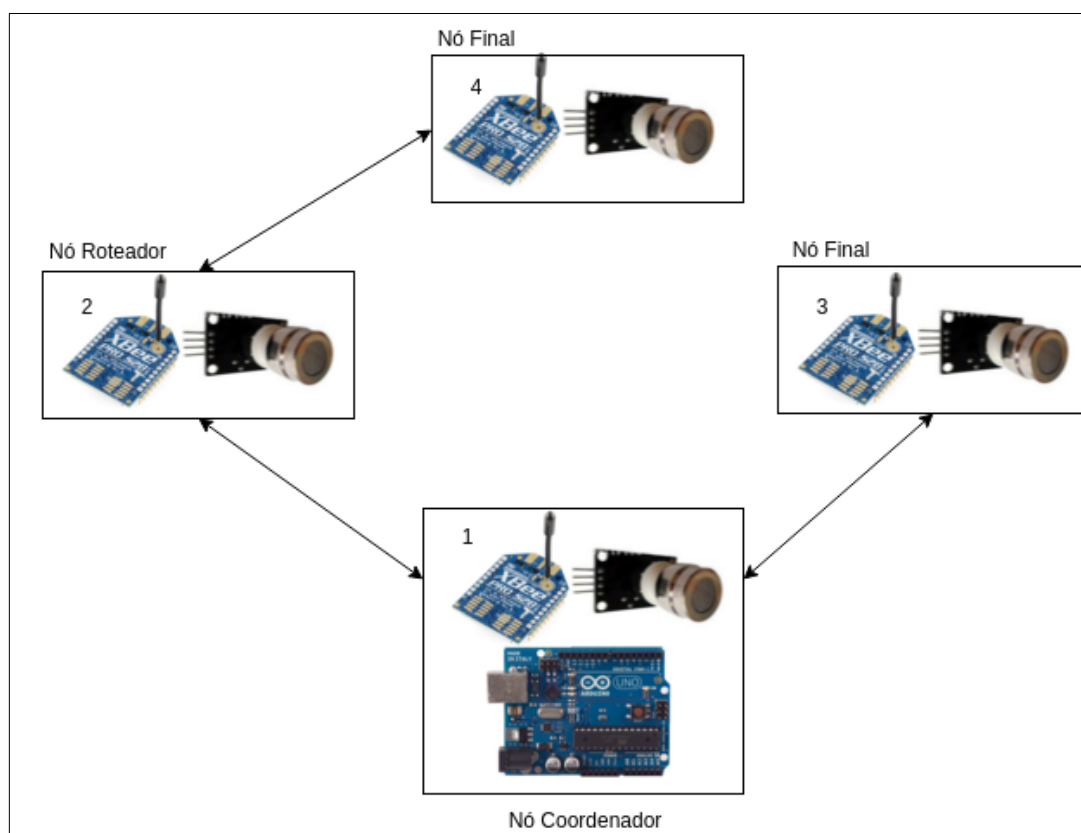
```
1 #define PIN_IN (0)
2 #define PIN_BOOL (2)
3 #define AMP_DC (8.5)
4
5 #define QTD_AMOSTRA (10)
6 #define INTÉRV_AMOSTRA (5)
7
8 /***Valores que devem ser ajustados na calibração***/
9 #define PONTO_BAIXO (0.1683)
10 #define PONTO_ALTO (0.1124)
11
12
```

### 3.3.2 Construção da Rede Sensor Sem Fio

Faz parte do objetivo da plataforma monitorar a concentração de dióxido de carbono em diversos pontos simultaneamente, possibilitando que uma análise mais aprofundada da qualidade do ar possa ser realizada em um determinado local. Desta forma, foi necessário a construção de uma rede sensor sem fio, que efetua as medidas em pontos distintos e envia os dados para um nó central. Inicialmente, foram implementados quatro nós, mas este número pode ser incrementado facilmente mediante disponibilidade de equipamentos.

Para construção da rede sensor sem fio responsável pela coleta das concentrações de CO<sub>2</sub>, além de quatro sensores MG811, foram utilizados quatro módulos Xbee Pro 900HP S3B, pois esta versão possui potência de 250mW, possibilitando um maior raio de alcance, podendo se comunicar a uma distância superior a 1600 metros, o que permitirá uma redução no número de nós e conseqüente redução de custos. Outra característica importante deste módulo é sua baixa frequência, que gira em torno de 900MHz, aumentando sua capacidade de driblar obstáculos. Além disso, este modelo oferece suporte à topologia Mesh, onde cada um dos nós podem rotear dados pela rede, o que é um recurso fundamental no caso de falhas ou na necessidade de ampliar a plataforma para monitorar ambientes com grandes extensões (Kuang-Yow et al. 2013, Dominguez-Morales et al. 2011, Rodriguez et al. 2011). A Figura 9 ilustra a estrutura da rede sensor sem fio da plataforma:

Figura 9 – Estrutura da rede sensor sem fio



Como é possível observar na Figura 9, existem quatro sensores MG811 medindo a concentração de dióxido de carbono em diferentes locais, sendo a função dos módulos Xbee transportar os dados até o nó coordenador, que por sua vez possui conexão direta com o Arduino, responsável por interpretar e armazenar os níveis de CO<sub>2</sub> dos quatro sensores. Com o objetivo de facilitar o entendimento, os nós da rede foram numerados de 1 à 4. Apesar de a rede sensor proposta neste trabalho contar com apenas quatro nós, não existe um limite máximo, podendo este número ser aumentado de acordo com a necessidade ou tamanho do local que será monitorado.

Na arquitetura da rede, o nó 1 é o coordenador, responsável por receber os dados de todos os demais e enviar ao microcontrolador. O nó 2, além de transmitir as medidas feitas pelo seu próprio sensor, também possui a função de rotear os dados vindos do nó 3, pois este não é capaz de enviar diretamente ao coordenador devido a distância e eventuais obstáculos. Já os nós 3 e 4 são finais, tendo função única de coletar a concentração de CO<sub>2</sub> e transmitir na rede para que estes dados cheguem até o coordenador. Outra informação

importante presente no nó 1 é o fato do MG811 estar conectado diretamente ao Arduíno e não ao Xbee, pois este possui a função de receber as informações vindo dos demais sensores, caso contrário seria necessário a aquisição de cinco módulos em vez de apenas quatro.

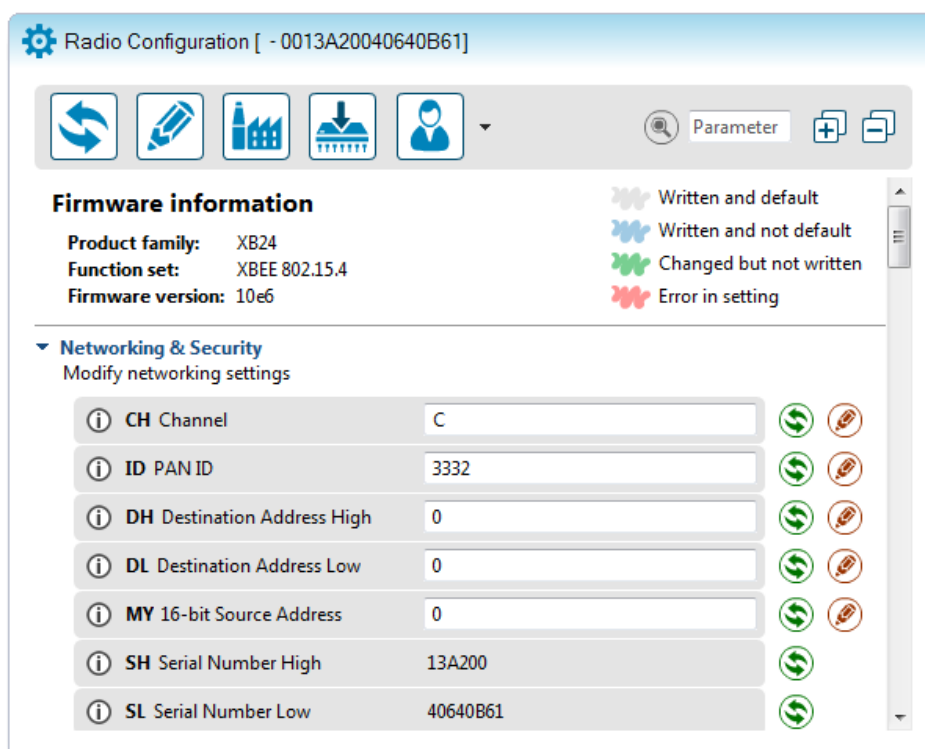
Com relação a configuração de cada módulo Xbee, é necessário a utilização do software XCTU, que possibilita que determinados ajustes de formação da rede sejam realizados. Basicamente, três parâmetros precisam ser modificados, são eles:

1. ID PAN ID - É o número de identificação da rede Xbee, ou seja, todos os módulos que formam a mesma rede precisam ter este parâmetro com o mesmo valor.

2. MY 16-bit Source Address - É um número único que identifica o módulo Xbee na rede, ou seja, algo parecido com um número IP de uma rede de computadores tradicional.

3. DL Destination Address Low - É o endereço do módulo Xbee de destino dos dados que serão transmitidos. A Figura 9 mostra como os parâmetros podem ser inseridos no módulo Xbee por meio do software XCTU:

Figura 10 – Software XCTU para configuração dos módulos Xbee



### 3.3.3 Desenvolvimento da Estrutura de Armazenamento Temporário dos Dados

Uma vez que a rede sensor sem fio está devidamente configurada e inicia o processo de transmissão dos sinais com as medições de dióxido de carbono para o microcontrolador, ele terá a função de interpretar e dar um destino para estes dados. Por meio do algoritmo desenvolvido na etapa 1, o Arduíno possui subsídios para calcular a concentração de CO<sub>2</sub>, mas pelo fato de possuir poucos recursos computacionais, não é capaz de armazenar com eficiência estas informações. Por tal motivo, a plataforma precisa contar com um Raspberry Pi, que por ter maior poder de processamento e contar com dois tipos de memória (primária e secundária), possui condições para armazenar com segurança os dados coletados.

A comunicação entre o Arduíno e o Raspberry Pi foi feita por meio de um cabo USB tradicional, e como o último possui praticamente todas as características de um computador, inclusive um sistema operacional baseado em Linux conhecido como Raspbian, possibilita que uma série de tecnologias de armazenamento possam ser utilizadas, inclusive a instalação de um sistema gerenciador de banco de dados, que atualmente é a opção mais moderna para este tipo de função (Aisa 2016).

Uma forma alternativa de armazenamento bem mais simples e com menor consumo de recursos computacionais seria a utilização de arquivos. Entretanto, o SGBD possui muitas vantagens com relação a esta abordagem, pois tem características, como controle de acesso de usuários, gerenciamento automático de transações, mecanismos de backup, entre muitos outros recursos que garantem total segurança das informações (Navathe e Elmasri 2011). Além disso, é possível que a plataforma se expanda, contando com um maior número de sensores, de forma que seja possível medir outros tipos de gases poluentes além do dióxido de carbono, e com um SGBD instalado e bem configurado, uma grande quantidade de dados poderá ser armazenada de forma simples e segura. A Figura 11 mostra como o Arduíno enviaria os dados para o Raspberry Pi armazenar no banco de dados:

Figura 11 – Esquema de armazenamento de dados temporário



Existem diversos sistemas gerenciadores de banco de dados no mercado, mas no desenvolvimento da plataforma será utilizado o MySQL. A sua escolha se deu pelo fato de ter alta compatibilidade com o Raspberry Pi, pois trata-se de um SGBD relativamente leve e muito seguro. Outro ponto favorável ao MySQL é sua grande flexibilidade, pois é possível configurá-lo tanto para recebimento de dados críticos, onde ele oferece um consistente controle transacional, quanto para dados não-críticos, apresentando um gerenciamento um pouco menos rígido em função de uma significativa melhora de desempenho (Vaas 2006; Pereira et al. 2018).

O processo de instalar o MySQL no Raspberry Pi é bastante simples, bastando poucas linhas de comando para finalizá-lo. Contudo, a instalação padrão atende de forma genérica as mais variadas situações, não sendo otimizada para nenhum tipo de situação em específico. Quando o banco de dados vai entrar em produção, é extremamente importante que uma série de configurações sejam realizadas no MySQL, para que ele seja capaz de atender com um desempenho satisfatório as necessidades dos usuários.

No caso específico da plataforma proposta neste trabalho, haverá um MySQL instalado no Raspberry Pi responsável apenas por armazenar de forma temporária os dados, devendo rapidamente replicá-los para o servidor principal. Analisando esta situação, fica bastante evidente que serão realizadas apenas operações de escritas simples no banco de dados, não sendo necessário um controle transacional avançado como em uma operação bancária por exemplo. Por isso, a tabela responsável pelo armazenamento foi modificada

para ter sua engine do tipo MyISAM, fugindo da configuração padrão que estabelece a InnoDB automaticamente.

Diferentemente da engine InnoDB, a MyISAM não garante características como atomicidade, consistência, isolamento e durabilidade. Entretanto, justamente por não ter estes mecanismos de segurança, sua velocidade é bem maior. Considerando que a plataforma conta apenas com operações de escrita simples e não-transacionais, a MyISAM acaba sendo uma opção melhor recomendada (Cabral 2011). Foram realizados testes de inserção com as duas engines no banco de dados proposto neste trabalho, e o desempenho da InnoDB foi aproximadamente 27% inferior.

Para otimizar ainda mais o MySQL, alguns parâmetros também foram modificados no arquivo de configuração `mysqld.cnf`. Dentre estas alterações, deve-se destacar os parâmetros `bulk_insert_buffer_size` e `binlog_cache_size`, que foram setados como 12 e 40 megabytes respectivamente. Eles são responsáveis por formar um buffer que otimiza as operações de inserção e geração de log binário, fundamental para o processo de replicação de dados para o servidor principal. A Figura 12 mostra os parâmetros modificados no arquivo de configuração do MySQL:

Figura 12 – Parâmetros do arquivo de configuração do MySQL

```
#
# The MySQL Server configuration file.
#
# For explanations see
# http://dev.mysql.com/doc/mysql/en/server-system-variables.html

[mysqld]
pid-file           = /var/run/mysqld/mysqld.pid
socket             = /var/run/mysqld/mysqld.sock
datadir           = /var/lib/mysql
log-error         = /var/log/mysql/error.log
# By default we only accept connections from localhost
#bind-address     = 127.0.0.1
# Disabling symbolic-links is recommended to prevent assorted security risks
symbolic-links=0

bulk_insert_buffer_size=12288
binlog_cache_size=40960
```



### 3.3.4 Replicação de Dados para o Servidor

Mesmo o Raspberry Pi possuindo um sistema gerenciador de banco de dados instalado, a ideia é que os dados coletados pelos sensores fiquem armazenados temporariamente no dispositivo, de forma que estes deverão ser replicados para um computador com mais recursos computacionais, capaz de suportar operações de análise e mineração de dados, além de recursos para disponibilizar as informações. Além disso, este processo de replicação é recomendado em virtude da ausência de disco no Raspberry Pi, fazendo com que o armazenamento seja feito em um cartão de memória flash.

Para fazer essa transferência de dados entre o Raspberry Pi e o servidor será utilizado um conceito de banco de dados distribuídos conhecido como replicação. Desta forma, será instalado no dois dispositivos uma mesma versão do MySQL, sendo que este SGBD possui recursos nativos de replicação, bastando que uma série de configurações sejam realizadas (Boicea et al. 2010). Com isso, será possível que, dentro de um espaço de tempo pré-determinado, os dados sejam sincronizados automaticamente no servidor, criando um espelho do banco de dados presente no Raspberry Pi. A Figura 13 mostra os parâmetros que são necessários configurar para início do processo de replicação:

Figura 13 – Parâmetros configuração do banco de dados master

```
#
# The MySQL Server configuration file.
#
# For explanations see
# http://dev.mysql.com/doc/mysql/en/server-system-variables.html

[mysqld]
pid-file           = /var/run/mysqld/mysqld.pid
socket             = /var/run/mysqld/mysqld.sock
datadir            = /var/lib/mysql
log-error          = /var/log/mysql/error.log
# By default we only accept connections from localhost
#bind-address      = 127.0.0.1
# Disabling symbolic-links is recommended to prevent assorted security risks
symbolic-links=0

log_bin=/etc/mysql/logs/logbin/mysql-bin
server_id=1
```

Com o parâmetro `log_bin` modificado no arquivo de configuração do MySQL, é gerado um arquivo de log binário com todas as inserções realizadas pelos sensores, gerando literalmente um espelho do banco de dados. O próximo passo é fazer com que o

MySQL instalado no servidor faça o processo de carga, e copie este arquivo binário para seu interior. As configurações que deverão ser feitas no arquivo de configuração do servidor são mostradas na Figura 14:

```
#
# The MySQL Server configuration file.
#
# For explanations see
# http://dev.mysql.com/doc/mysql/en/server-system-variables.html

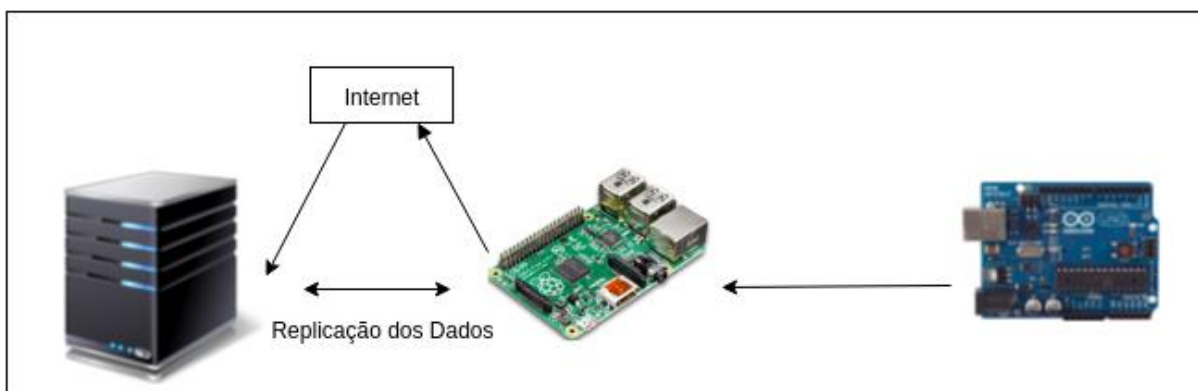
[mysqld]
pid-file           = /var/run/mysqld/mysqld.pid
socket             = /var/run/mysqld/mysqld.sock
datadir            = /var/lib/mysql
log-error          = /var/log/mysql/error.log
# By default we only accept connections from localhost
#bind-address      = 127.0.0.1
# Disabling symbolic-links is recommended to prevent assorted security risks
symbolic-links=0

#replicacao escravo
relay_log=/etc/mysql/logs/relaylog/mysql-relay
server_id=2
log_bin=/etc/mysql/logs/logbin/mysql-relay-bin
log_slave_updates=1
read_only=1
```

Figura 14 – Parâmetros do arquivo de configuração do MySQL do servidor

Um requisito básico para a conclusão do processo de replicação é a disponibilidade de internet tanto para o servidor quanto para o Raspberry Pi. Neste caso, principalmente para o minicomputador, que estará em campo, foi necessário a implantação de um módulo GSM, onde é possível inserir um chip de celular que possibilita a conexão com a WEB. Se eventualmente este acesso for interrompido, nenhum dado será perdido, pois ficará armazenado no banco de dados MySQL, para que posteriormente o sincronismo ocorra. A Figura 15 mostra o esquema de como é o processo de replicação entre o Raspberry Pi e o servidor:

Figura 15 – Esquema de replicação de dados entre o Raspberry Pi e o servidor



### 3.3.5 Desenvolvimento do Sistema de Apresentação de Dados

Uma vez que a etapa anterior foi concluída, os dados coletados pela rede sensor sem fio já terão recursos suficientes para serem replicados e armazenados no banco de dados do servidor principal, e com isso pode-se dizer que todo o módulo de aquisição foi finalizado. O fato da plataforma ter a capacidade de coletar a concentração de dióxido de carbono por meio de sensores e gravar esta informação em um banco de dados de um servidor com maior poder computacional, abre inúmeras possibilidades para o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem analisar estes dados e gerar um conhecimento útil no estudo da emissão de gases poluentes na atmosfera..

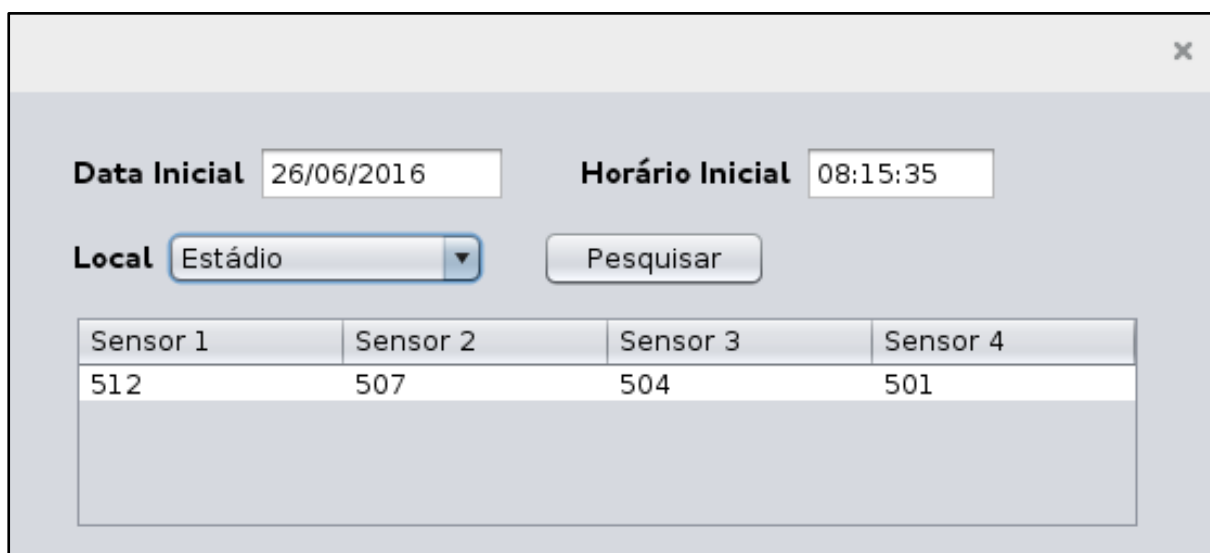
Para que um entendimento mais completo sobre a qualidade do ar possa ser realizado, não basta saber em tempo real a concentração de dióxido de carbono ou de qualquer outra forma de poluição. É necessário entender todo o contexto do local onde se deseja monitorar, os horários de pico, a curva de distorção, entre muitas outras variáveis. Desta forma, mesmo após se encontrar concentrações mais elevadas de CO<sub>2</sub> em um determinado ambiente, não é possível afirmar que ele esteja poluído, é preciso que uma análise mais cuidadosa seja feita, com dados que vão além de uma medida momentânea da qualidade do ar (Satish et al. 2012).

Desta forma, nesta etapa de desenvolvimento o foco principal é implementar um sistema que forneça uma ampla gama de possibilidades de consultas e relatórios referentes aos dados coletados pelos sensores, de forma que estudiosos e pesquisadores da área

ambiental possam analisar e ter maiores subsídios para suas pesquisas referentes a qualidade do ar. Dentro deste contexto, este tópico mostrará o sistema de consultas que foi implementado na plataforma, utilizando a linguagem de programação Java.

A Figura 16 ilustra uma tela de consulta que possibilita ao usuário visualizar a concentração de CO<sub>2</sub> coletada pelos quatro sensores em uma determinada data, horário e local específico. Basta fornecer os parâmetros de entrada presentes no formulário para que o sistema retorne as informações, como mostrado na imagem:

Figura 16 – Tela de consulta de CO<sub>2</sub> por date e horário



| Sensor 1 | Sensor 2 | Sensor 3 | Sensor 4 |
|----------|----------|----------|----------|
| 512      | 507      | 504      | 501      |

Contudo, pode ser necessário descobrir momentos em que a qualidade do ar atinja picos, tanto positivos quanto negativos. Como a tela anterior mostra a concentração de dióxido de carbono apenas no horário especificado como parâmetro de busca, foi necessário a implementação de uma nova funcionalidade, que possibilite ao usuário descobrir momentos em que a presença de CO<sub>2</sub> encontra-se mais e menos acentuada. A Figura 17 mostra a tela do sistema responsável por retornar as medidas mais baixas e altas coletadas pelos sensores em um determinado momento:

Figura 17 – Tela para consulta de picos na concentração de CO<sub>2</sub>

**Data Inicial** 26/06/2016 **Data Final** 26/06/2016 **Pesquisar**  
**Horário Inicial** 07:00:00 **Horário Final** 19:00:00  
**Local** Parque do Ingá  Máximo  Mínimo

|     | Sensor | Data       | Hora     | Valor |
|-----|--------|------------|----------|-------|
| Max | 1      | 26/06/2016 | 18:17:20 | 691   |
| Max | 2      | 26/06/2016 | 18:19:45 | 674   |
| Max | 3      | 26/06/2016 | 18:15:05 | 687   |
| Max | 4      | 26/06/2016 | 18:18:10 | 689   |

Todas as funcionalidades mostradas anteriormente mostram a qualidade do ar em um momento específico, por meio de dados coletados diretamente pelos sensores. Contudo, em determinadas situações pode ser necessário saber a média da concentração de dióxido de carbono em um intervalo de tempo. A tela de consulta mostrada na Figura 18 faz exatamente isso, bastando o usuário inserir o intervalo de data e hora desejado, que o sistema retorna o valor médio de CO<sub>2</sub>:

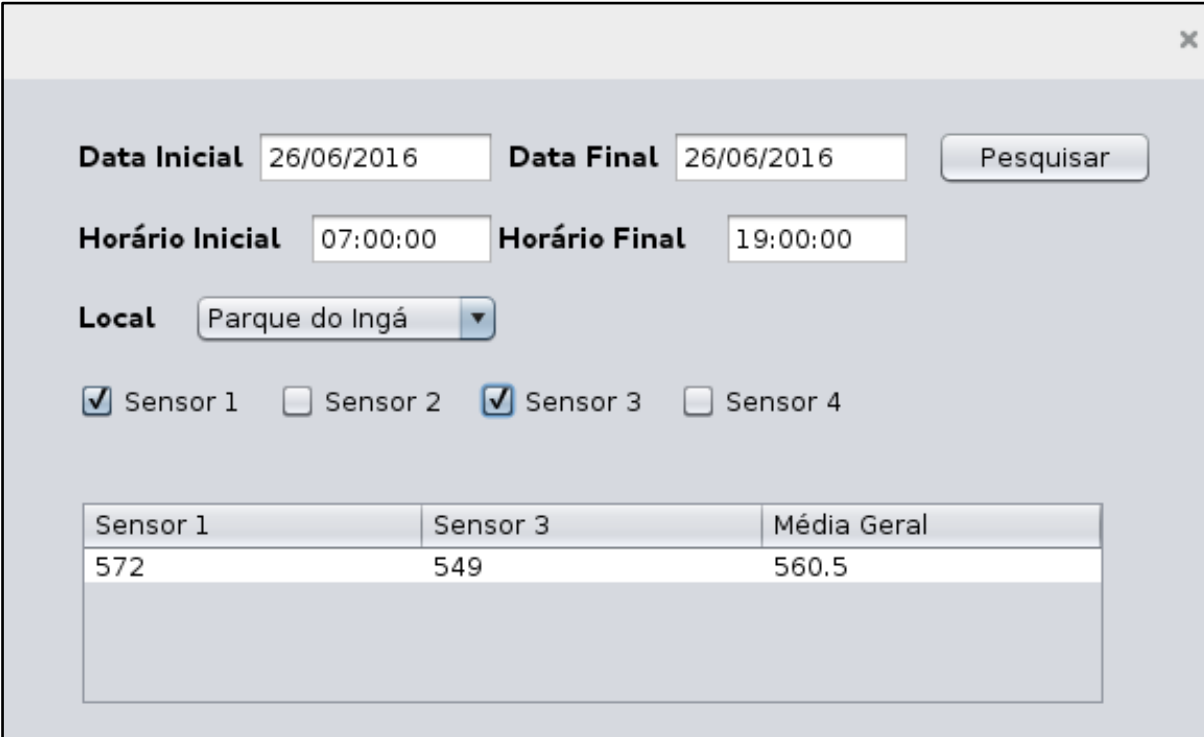
Figura 18 – Tela para consulta de média da concentração de CO<sub>2</sub>

**Data Inicial** 26/06/2016 **Data Final** 26/06/2016 **Pesquisar**  
**Horário Inicial** 07:00:00 **Horário Final** 19:00:00  
**Local** Parque do Ingá

| Sensor 1 | Sensor 2 | Sensor 3 | Sensor 4 |
|----------|----------|----------|----------|
| 572      | 553      | 549      | 557      |

A tela do sistema de consulta mostrado na Figura 19 é muito similar à da Figura 18, porém existe o acréscimo de duas funcionalidades importantes: A primeira delas é que poderão ser selecionados os sensores cujos dados serão exibidos no sistema, e a segunda novidade é a demonstração da média geral da concentração de dióxido de carbono, tendo como base os dados coletados pelos sensores selecionados pelo usuário. Com isso, pesquisadores poderão analisar a qualidade do ar não apenas de uma forma geral, mas em diversas perspectivas, combinando os valores médios dos sensores.

Figura 19 – Tela para consulta de média da concentração de CO<sub>2</sub> por sensor

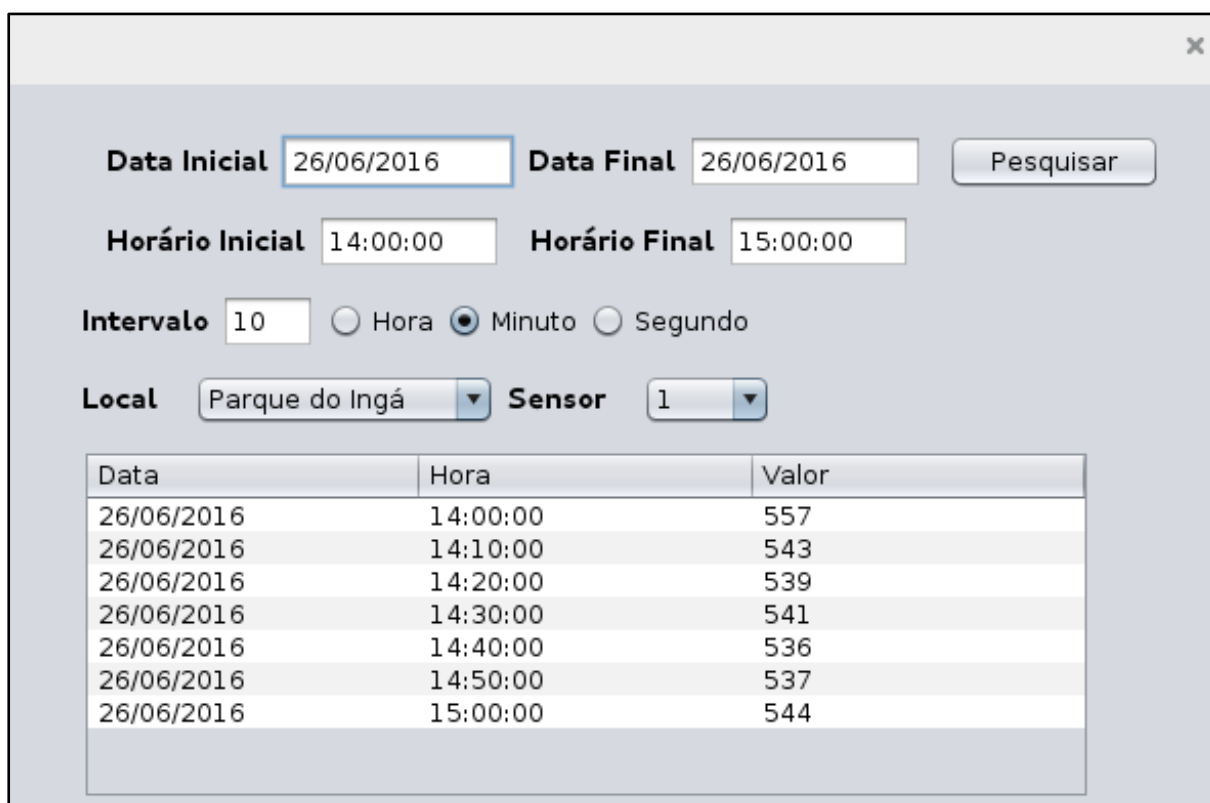


The screenshot shows a web application interface for querying CO<sub>2</sub> concentration data. The interface includes the following elements:

- Data Inicial:** 26/06/2016
- Data Final:** 26/06/2016
- Horário Inicial:** 07:00:00
- Horário Final:** 19:00:00
- Local:** Parque do Ingá (dropdown menu)
- Sensors:**  Sensor 1,  Sensor 2,  Sensor 3,  Sensor 4
- Table:**

| Sensor 1 | Sensor 3 | Média Geral |
|----------|----------|-------------|
| 572      | 549      | 560.5       |

A tela apresentada na Figura 20 possibilita acompanhar o perfil da qualidade do ar durante um determinado período de tempo. Desta forma, o usuário deverá selecionar o intervalo (data e hora), o sensor, o local e a frequência com que deseja que as concentrações de dióxido de carbono sejam exibidas. O exemplo da Figura 19 configura a frequência para 10 minutos:

Figura 20 – Tela para consulta de média da concentração de CO<sub>2</sub> durante um período

**Data Inicial** 26/06/2016 **Data Final** 26/06/2016 **Pesquisar**

**Horário Inicial** 14:00:00 **Horário Final** 15:00:00

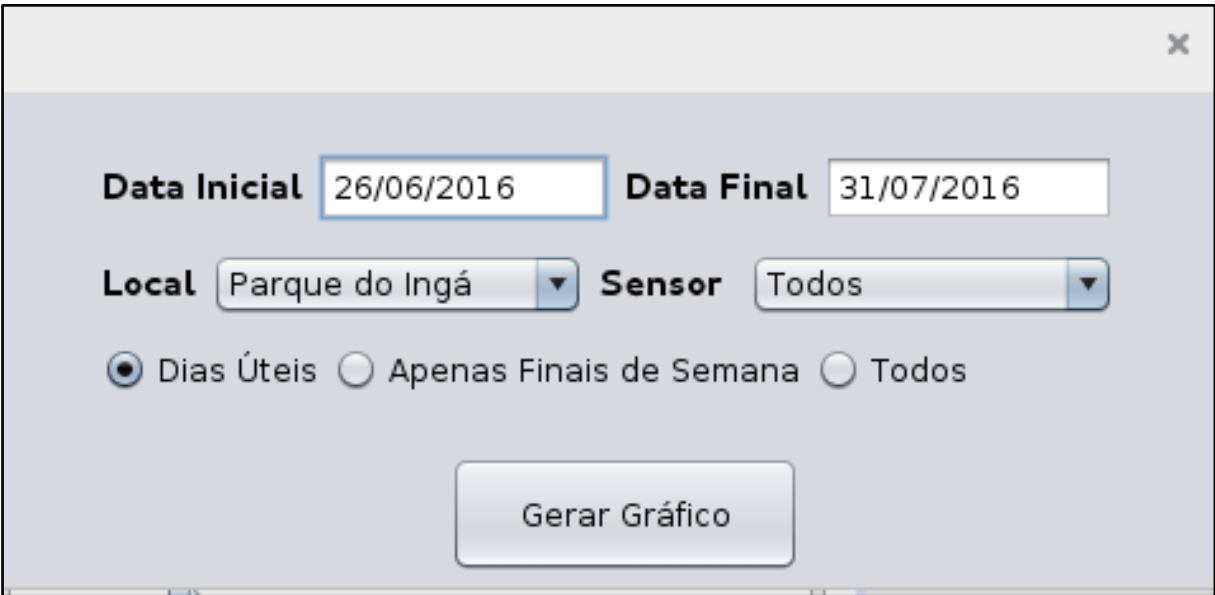
**Intervalo** 10  Hora  Minuto  Segundo

**Local** Parque do Ingá **Sensor** 1

| Data       | Hora     | Valor |
|------------|----------|-------|
| 26/06/2016 | 14:00:00 | 557   |
| 26/06/2016 | 14:10:00 | 543   |
| 26/06/2016 | 14:20:00 | 539   |
| 26/06/2016 | 14:30:00 | 541   |
| 26/06/2016 | 14:40:00 | 536   |
| 26/06/2016 | 14:50:00 | 537   |
| 26/06/2016 | 15:00:00 | 544   |

Enquanto a tela da Figura 20 mostra o perfil da qualidade do ar por meio do retorno de registros contendo a concentração de dióxido do carbono durante um determinado período, a Figura 21 mostra uma outra funcionalidade do sistema que possibilita obter este mesmo perfil de forma gráfica. O usuário deverá informar apenas o intervalo (data inicial e final), o local, o sensor, e se ele deseja que o cálculo da média de concentração de CO<sub>2</sub> considere apenas dias úteis ou finais de semana também. Esta configuração é importante em virtude da emissão de poluição ser consideravelmente menor nos finais de semana. Enquanto a Figura 22 mostra a tela de configuração para geração do gráfico, a Figura 22 mostra o gráfico com a média da concentração de dióxido de carbono propriamente dito:

Figura 21 – Tela de configuração dos parâmetros para geração do gráfico



Tela de configuração dos parâmetros para geração do gráfico. O formulário contém os seguintes campos e opções:

- Data Inicial:** 26/06/2016
- Data Final:** 31/07/2016
- Local:** Parque do Ingá
- Sensor:** Todos
- Seleção de dias:**  Dias Úteis,  Apenas Finais de Semana,  Todos
- Botão:** Gerar Gráfico

Figura 22 – Gráfico com o perfil da qualidade do ar em determinado período



Todas as telas de consulta mostradas nas figuras anteriores foram implementadas na linguagem de programação Java, por meio da API Swing, que oferece diversos componentes gráficos para o desenvolvimento de interface gráfica para sistemas desktop.



Desta forma, não é possível que estas consultas sejam acessadas pela WEB, apenas pelo computador ao qual o software está instalado.

Dentro deste contexto, foi implementado na plataforma um módulo de consulta online, que possibilite tornar público, em tempo real, dados sobre a qualidade do ar, tudo por meio de uma página WEB que pode ser acessada pelos mais diversos dispositivos, sejam eles computadores, tablets ou até mesmo celulares. A Figura 23 mostra a página para visualização da concentração de dióxido de carbono em tempo real:

Figura 23 – Página WEB com a concentração de CO<sub>2</sub> em tempo real-time



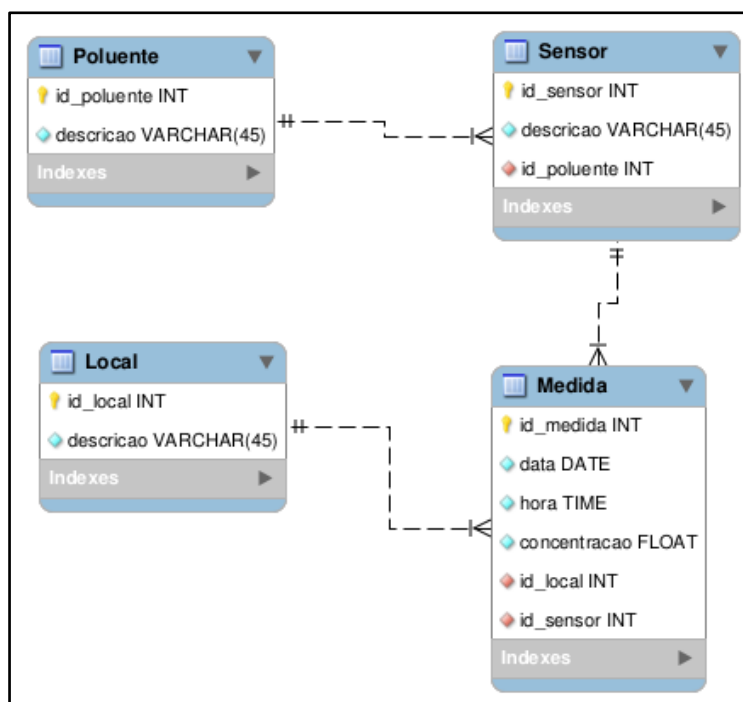
Alguns fatores, como a quantidade de sensores e o intervalo de tempo entre a realização de uma medida e outra, fazem com que o número de registros armazenados no banco de dados cresça rapidamente. Este grande volume de dados compromete seriamente o tempo de resposta das consultas realizadas, deixando o sistema consideravelmente mais

lento. Desta forma, é necessário que algumas técnicas de otimização sejam implementadas no banco de dados, dentre elas estruturas de indexação, para que seja possível melhorar o desempenho, mesmo existindo um elevado número de registros (Mehedințu et al. 2010).

A técnica de indexação consiste basicamente em manter uma estrutura contendo uma cópia ordenada dos dados de determinadas colunas das tabelas, de forma que as buscas possam ser realizadas nesta estrutura e não diretamente nas tabelas, onde inexistente qualquer forma de ordenação. A ideia é similar ao índice de um livro, que contém o número da página de todos capítulos, possibilitando ao leitor encontrar facilmente o assunto de interesse sem ter que folheá-lo por inteiro. Embora os índices tornem as consultas muito mais rápidas, eles acabam comprometendo as operações de escrita, pois é preciso reordenar toda estrutura a cada nova inserção ou alteração (Gyorodi et al. 2010).

No caso deste trabalho, após alguns testes para medir o tempo de resposta de diversas funcionalidades do sistema de consultas, optou-se por criar índices nas colunas “data”, “hora” e “concentracao”. Com isso, as buscas tiveram uma redução no tempo de processamento de aproximadamente 43%. Embora o número de operações de escrita seja grande, elas não chegaram a comprometer o rendimento global da plataforma, pois o grau de concorrência entre as transações é muito baixo. A Figura 24 mostra o diagrama físico do banco de dados:

Figura 24 – Diagrama físico do banco de dados da plataforma



### 3.3.6 Mineração de Dados

Além da concentração de dióxido de carbono medida pela rede sensor sem fio, são armazenados no banco de dados algumas informações complementares, como data, hora e local onde a coleta foi realizada. Por meio destes dados, é possível que o sistema de consultas, apresentado no tópico anterior, possa demonstrar informações sobre a qualidade do ar em diversas perspectivas, bastando especificar os parâmetros de busca desejados (data, hora ou local).

Apesar de eficientes, as consultas retornam apenas o que é solicitado, ou seja, o usuário precisa saber exatamente o que ele deseja buscar, e isto nem sempre é possível. Além disso, não é correto afirmar que a qualidade do ar de um determinado local está adequada ou não, apenas realizando uma ou duas medidas da concentração de dióxido de carbono. Para atestar se um ambiente está tendo problemas com poluição, é importante que uma análise mais aprofundada seja realizada, estabelecendo padrões que possam traçar um perfil mais concreto da qualidade do ar (Trail et al. 2015).

Conforme o banco de dados aumenta de tamanho, muitas informações valiosas acabam ficando oculta para o usuário, que não é capaz de analisar uma grande quantidade de dados sem o auxílio de ferramentas. Neste cenário, fazendo uso de técnicas de mineração de dados, se torna possível encontrar eventos que acontecem com uma certa frequência no banco de dados, estabelecendo padrões que podem auxiliar na geração de conhecimento e no processo de tomada de decisões (Vinodh et al. 2011).

Desta forma, o objetivo de integrar o Weka com a plataforma desenvolvida neste trabalho, é possibilitar que as concentrações de dióxido de carbono coletadas pelos sensores e armazenadas no banco de dados sejam mineradas, para que em seguida o algoritmo C4.5 possa gerar uma árvore de decisão capaz de traçar o perfil da qualidade do ar, determinando os dias, horários e locais onde os níveis de CO<sub>2</sub> estão mais críticos. Estas informações são disponibilizadas no sistema de consulta, possibilitando que gestores e estudiosos do meio ambiente, além de qualquer usuário interessado, possam ter um panorama preciso da situação do ar.

Para que recursos de mineração de dados pudessem ser adicionados na plataforma, ela precisou ser integrada com a ferramenta Weka, que é um componente da suíte de

aplicativos do Pentaho. Esta ferramenta possui suporte nativo ao C4.5, um dos algoritmos de classificação com maior eficiência na análise de grandes quantidades de dados. O C4.5 gera a árvore de decisão por meio de um algoritmo guloso, utilizando a estratégia de dividir e conquistar. Basicamente, ele resolve os problemas indicando a melhor escolha de forma local, com a expectativa que estas escolhas levem a melhor escolha global ao final do processo de execução (Setsirichok et al. 2012).

Algumas customizações precisaram ser implementadas no C4.5 para que ele pudesse gerar uma árvore de decisão definindo os períodos em que a qualidade do ar está inadequada. O primeiro passo foi construir o arquivo no formato ARFF, onde é possível selecionar os atributos e sua respectiva ordem na formação da árvore de decisão. Os atributos selecionados foram: local, dia da semana, horário e concentração de CO<sub>2</sub>, nesta ordem. No C4.5, a sequência que os atributos são inseridos na estrutura da árvore é definida pelo grau de entropia, também conhecido pelo grau de desordem. Neste caso, a lista de atributos foi estabelecida no algoritmo em ordem crescente de grau de entropia.

O Weka aceita apenas arquivos dentro do padrão expresso em sua documentação, e com a extensão do tipo ARFF. Como os dados estão armazenados no banco de dados, eles precisam ser convertidos para este padrão preestabelecido para que o processo de mineração possa ocorrer. Para isso, foi implementado no sistema de consulta uma funcionalidade onde o usuário seleciona o período desejado, e automaticamente o arquivo ARFF é gerado, como mostrado na Figura 25 e na Figura 26:

Figura 25 – Tela de geração do arquivo ARFF



A interface de usuário para a geração de um arquivo ARFF. Ela possui um formulário com os seguintes elementos:

- Campos de texto para "Data Inicial" (contendo 23/06/2016) e "Data Final" (contendo 31/07/2016).
- Menu suspenso para "Local" com o valor selecionado "Estádio".
- Menu suspenso para "Sensor" com o valor selecionado "Todos".
- Um botão de ação rotulado "Gerar ARFF" localizado na parte inferior central.

Figura 26 – Arquivo ARFF gerado

```
@data; hora; concentracao; adequado
2016-06-23; 06:00:00; 503; sim
2016-06-23; 06:00:05; 504; sim
2016-06-23; 06:00:10; 503; sim
2016-06-23; 06:00:15; 501; sim
2016-06-23; 06:00:20; 497; sim
2016-06-23; 06:00:25; 501; sim
2016-06-23; 06:00:30; 501; sim
2016-06-23; 06:00:35; 502; sim
2016-06-23; 06:00:40; 500; sim
```

Para que o algoritmo pudesse ser treinado, foi estabelecido como parâmetro de Percentage Split o valor de 70. Com isso, 30% das medidas presentes no banco de dados foram utilizadas para testes, enquanto 70% dos registros foram direcionados para o processo de aprendizado do C4.5. Para validação do processo, utilizou-se o método de Validation Cross, que costuma determinar com eficiência a taxa de erros do processo de mineração de dados, que no caso foi de apenas 8.8%. Este baixo percentual de erro deve-se a pouca variação que os índices de CO<sub>2</sub> possuem de um dia para o outro, ou seja, dentro do mesmo horário, os diferentes dias da semana possuem a sua concentração de dióxido de carbono com valores muito próximos (Kawsar e Tasnuba 2014).

### 3.3.7 Testes

Após o processo de construção da plataforma ser finalizado, ela foi colocada em uso para que sua eficiência em campo pudesse ser avaliada. Os testes foram realizados em Maringá – Brasil, uma cidade com aproximadamente 350 mil habitantes e conhecida por ter grandes extensões de áreas verdes, formadas principalmente por parques e bosques. Estes locais costumam ser utilizados diariamente para prática esportiva por pessoas de todas as idades, incluindo idosos e crianças.

O objetivo é efetuar o monitoramento da qualidade do ar em dois parques da cidade. Desta forma, para dar maior relevância aos testes, a metodologia utilizada para seleção dos locais se basearam principalmente em dois fatores: fluxo de pessoas e de veículos. Neste contexto, dois parques se destacam dos demais, são eles: Estádio Regional Willy Davids e Parque Ingá, pois ambos são frequentados diariamente por um grande número de pessoas, além de estarem localizados em uma região central, onde o trânsito de carros é intenso em

determinados horários do dia. A Figura 27 e Figura 28 mostram a distribuição dos nós sensores no Estádio e no Parque do Ingá, respectivamente:

Figura 27 – Distribuição dos sensores no Regional Stadium Willie Davids



Figura 28 – Distribuição dos sensores no Parque do Ingá



Com relação ao posicionamento dos nós sensores, todos foram distribuídos em pontos estratégicos de cada um dos parques, visando cobrir a maior área possível, mas sem

comprometer o sinal entre eles. No caso do Estádio Regional Willy Davids, o ambiente é totalmente aberto, não havendo obstáculos que pudessem eventualmente prejudicar a comunicação, além disso os nós foram posicionados a uma distância máxima de 600 metros, sendo este valor muito inferior a capacidade oferecida pelos módulos Xbee. O único sensor que exigiu um cuidado especial foi o número 4, que para garantir transmissão de seus dados para o sensor número 1, precisou ter seu sinal roteado pelo sensor número 3, como mostrado na Figura 27.

A distribuição dos nós no Parque do Ingá foi um pouco mais complexa, pois a vegetação acaba comprometendo a comunicação. Desta forma, os sensores foram fixados, a uma altura de aproximadamente 1,5 metros, nos caules das árvores posicionadas na lateral, com o objetivo de evitar que o sinal precisasse passar pelo meio do parque e pudesse sofrer algum tipo de interferência. Além disso, a distância máxima entre eles também foi inferior a 600 metros, o que garantiu uma transmissão de dados segura dentro da rede sem fio. Conforme mostrado na Figura 28, para que as medidas de CO<sub>2</sub> do sensor número 4 pudessem chegar até o sensor número 1, foi necessário que o seu sinal fosse roteado pelo sensor número 3.

Todos os nós da rede sensor sem fio foram programados para medir a concentração de dióxido de carbono e fazer o envio imediato para o nó central da rede (sensor número 1), responsável pelo armazenamento destas informações. O monitoramento ocorreu por um período contínuo de 12 semanas, formando uma base de dados com quantidade de registros suficientes para que o processo de mineração de dados pudesse gerar resultados relevantes e confiáveis.

### **3.4 Custo de Desenvolvimento da Plataforma**

Embora o foco principal deste trabalho não fosse minimizar ao máximo o custo de desenvolvimento da plataforma, buscou-se utilizar tecnologias e equipamentos gratuitos ou que tivessem preços acessíveis. O Quadro 2 apresenta uma relação de todos os itens utilizados nesta pesquisa, com seu respectivo preço expresso em dólar:

Quadro 2 – Custo dos equipamentos e tecnologias utilizadas no desenvolvimento

| <b>Componente</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Preço (\$)</b> |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| MG811             | 4                 | 18                |
| Xbee Series 2     | 4                 | 20                |
| Arduíno UNO       | 1                 | 10                |
| Raspberry Pi      | 1                 | 16                |
| Módulo GSM        | 1                 | 26                |
| Bateria de 6V     | 4                 | 9                 |
| Java              | -                 | Software Livre    |
| PHP               | -                 | Software Livre    |
| Pentahoo          | -                 | Software Livre    |
| MySQL             | -                 | Software Livre    |
|                   | <b>Total</b>      | <b>99</b>         |



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante um período de 12 semanas, a rede sensor sem fio fez o monitoramento dos níveis de dióxido de carbono nos dois parques em questão. As medidas foram efetuadas diariamente, tendo seu início e término as 6:00 e 21:00 horas, respectivamente. Os sensores foram programados para realizar uma coleta a cada 5 segundos, gerando 10.800 registros diários e um total de 907.200 ao final da décima segunda semana. O espaço em disco ocupado pelo sistema gerenciador de banco de dados para armazenamento de todas estas informações foi de aproximadamente 2GB.

Devido a grande quantidade de registros, ao se realizar as primeiras consultas, foi possível observar uma pequena lentidão no tempo de resposta do banco de dados, sendo necessário a implementação de uma estrutura de indexação que possibilitasse agilizar o processo. Uma vez que estes ajustes foram finalizados, o sistema de busca desenvolvido na plataforma possibilitou que as primeiras análises sobre a qualidade do ar presente nos dois parques de Maringá pudessem ser realizadas.

Por meio de uma das interfaces de consulta existentes na plataforma, é possível visualizar a média das concentrações de CO<sub>2</sub>, bem como o maior e o menor valor medido pelos sensores, bastando o usuário especificar o local e o intervalo de data desejado. O Quadro 3 exibe os resultados coletados pelos sensores durante as 12 semanas em que os dois parques foram monitorados:

Quadro 3 – Dados estatísticos da concentração de CO<sub>2</sub> obtidos pela plataforma durante as 12 semanas de monitoramento

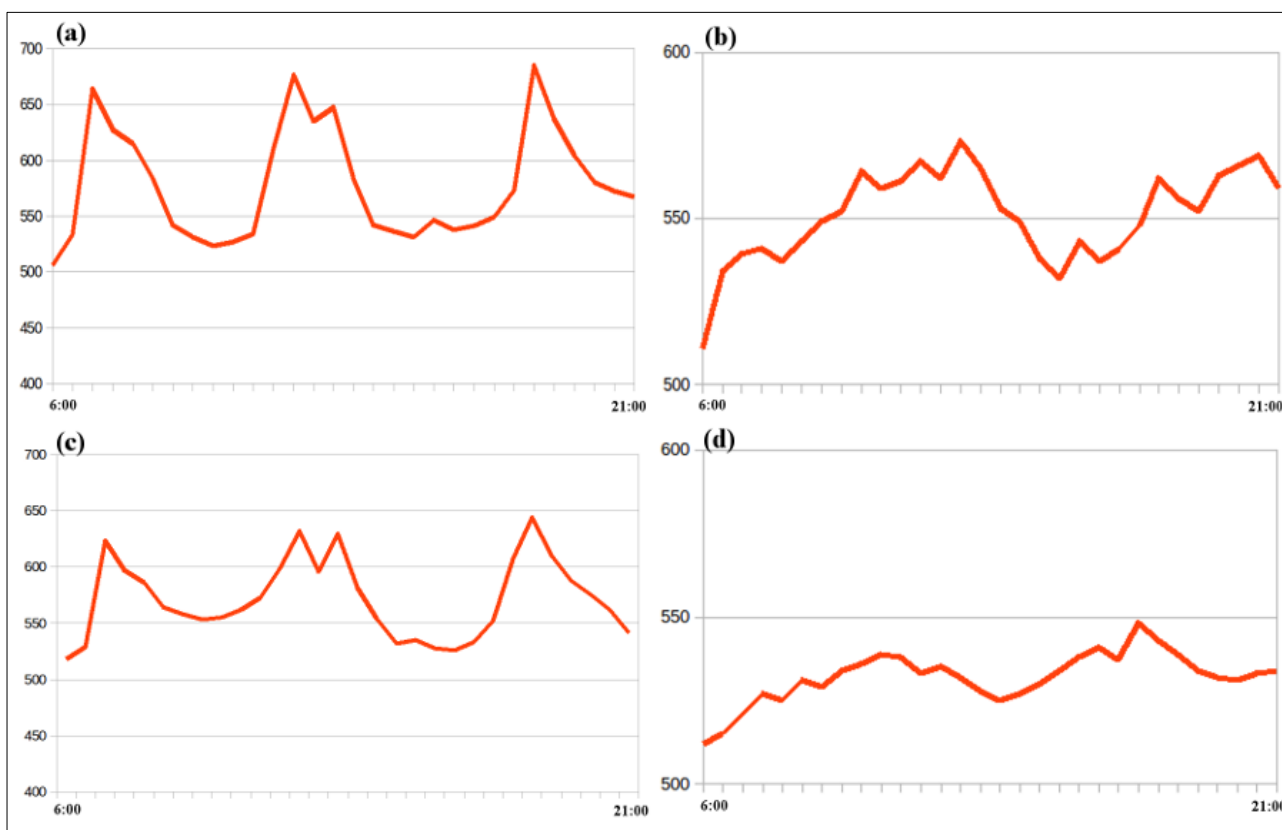
| <b>Local</b>   | <b>Sensor</b> | <b>Média</b> | <b>Mínimo</b>                    | <b>Máximo</b>                    |
|----------------|---------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Estádio        | 1             | 559 ppm      | 498 ppm<br>2016/06/26 – 06:12:35 | 703 ppm<br>2016/07/06 – 18:19:25 |
| Estádio        | 2             | 544 ppm      | 488 ppm<br>2016/07/31 – 06:03:05 | 639 ppm<br>2016/07/22 – 18:24:40 |
| Estádio        | 3             | 541 ppm      | 491 ppm<br>2016/07/17 – 06:14:55 | 669 ppm<br>2016/08/03 – 18:08:15 |
| Estádio        | 4             | 536 ppm      | 495 ppm<br>2016/08/01 – 06:01:35 | 617 ppm<br>2016/07/04 – 18:19:25 |
| Parque do Ingá | 1             | 523 ppm      | 505 ppm<br>2016/07/31 – 06:38:20 | 560 ppm<br>2016/08/12 – 12:17:15 |
| Parque do Ingá | 2             | 527 ppm      | 501 ppm<br>2016/08/10 – 06:41:25 | 553 ppm<br>2016/07/13 – 12:22:45 |
| Parque do Ingá | 3             | 538 ppm      | 509 ppm<br>2016/07/03 – 06:29:50 | 630 ppm<br>2016/06/29 – 18:29:10 |
| Parque do Ingá | 4             | 534 ppm      | 504 ppm<br>2016/07/17 – 06:32:45 | 626 ppm<br>2016/08/15 – 12:14:55 |

Como é possível observar no Quadro 3, o Estádio Regional Willie Davids apresentou índices de dióxido de carbono mais elevados do que o Parque do Ingá, possuindo inclusive um pico de 703 ppm, medido pelo sensor 1, que estava localizado na lateral onde existe uma rodovia com fluxo intenso de veículos em determinados horários, especialmente no intervalo entre as 18:00 e 19:00 horas. Os menores níveis de CO<sub>2</sub> também foram encontrados no Estádio Regional Willie Davids, principalmente por volta das 06:00 horas, horário em que o tráfego de automóveis é muito baixo, mantendo o dióxido de carbono em um patamar inferior à 500 ppm.

Além dos valores apresentados no Quadro 2, a plataforma oferece uma outra funcionalidade capaz de demonstrar de forma gráfica a variação que os níveis de CO<sub>2</sub> sofrem durante o dia, diferenciando dias úteis de finais de semana, onde os índices de poluição costumam ser consideravelmente diferentes. Cabe ao usuário apenas especificar o

intervalo de datas que deseja consultar, que o sistema gera dinamicamente um gráfico contendo a curva média de concentração de dióxido de carbono no domingo e durante os dias úteis da semana, como demonstra a Figura 28:

Figura 29. Curva média de concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) variando entre 6:00 e 21:00 horas: (a)curva média de CO<sub>2</sub> do Estadio nos dias úteis; (b)curva média de CO<sub>2</sub> do Estadio no domingo; (c)curva média de CO<sub>2</sub> do Parque Ingá nos dias úteis; (d)Curva média de CO<sub>2</sub> do Parque Ingá no domingo

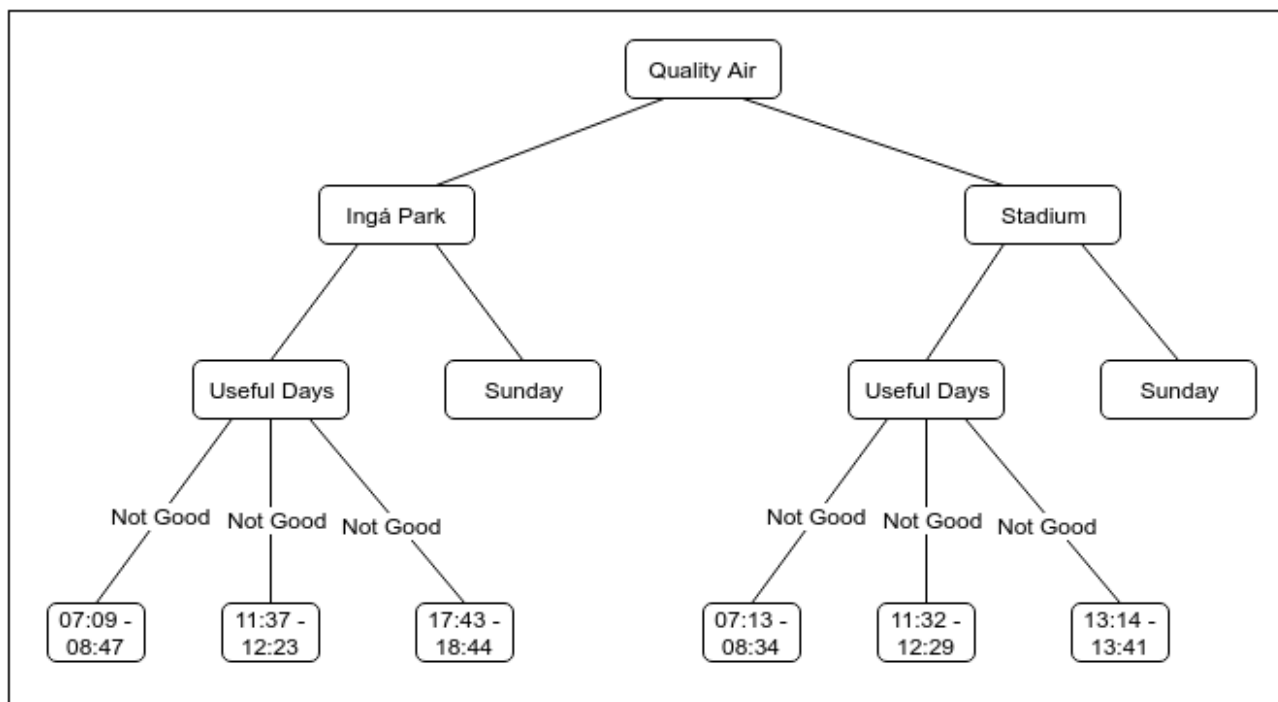


A Figura 29(a)(b) mostra a influência que o trânsito existente ao redor do Regional Stadium Willie Davids exerce na qualidade do ar. Nos dias úteis da semana, é possível visualizar um aumento acentuado nos índices de dióxido de carbono em horários onde o fluxo de veículos é maior, principalmente nos intervalos entre 7:00 – 8:00, 12:00 – 13:30 e 18:00 – 19:00 horas, em que a concentração de CO<sub>2</sub> alcança valores superiores a 650ppm. Já aos domingos, como resultado de um trânsito menos intenso, observa-se que os níveis de dióxido de carbono permanecem em um patamar inferior a 550 ppm, não possuindo os picos existentes nos demais dias da semana.

O Parque do Ingá, como demonstrado na Figura 29(c)(d), apresenta um perfil de qualidade do ar muito similar ao Regional Stadium Willie Davids. Entretanto, observa-se que mesmo durante os horários de pico presente nos dias úteis da semana, a concentração de dióxido de carbono se mantém abaixo de 650 ppm. No domingo, os níveis de CO<sub>2</sub> permanecem não sofrem grande variação, ficando a maior parte do dia entre 510 e 540 ppm.

Analisando o gráfico e traçando um comparativo entre os dois parques, é possível observar que em praticamente todos os períodos do dia o Parque do Ingá possui índices de qualidade do ar superiores aos do Estádio Regional Willie Davids. Contudo, considerando o fato dos dois parques apresentarem concentrações acima de 600 ppm de CO<sub>2</sub> em determinados momentos do dia, e que este valor não é o ideal para ambientes externos, acaba sendo necessário um mapeamento mais detalhado com relação aos horários mais e menos adequados para visitação ou práticas esportivas no local. Esse mapeamento foi feito utilizando técnicas de data mining, onde por meio da ferramenta Weka, o algoritmo de classificação C4.5 foi configurado para classificar as medidas de dióxido de carbono armazenadas no banco de dados e gerar uma árvore de decisão mostrada na Figura 30:

Figura 30. Árvore de decisão gerada pelo processo de mineração de dados.



Analisando a estrutura da árvore de decisão (Figura 30) gerada no processo de mineração de dados, observa-se que seu objetivo é mostrar os períodos do dia em que a qualidade do ar não é considerada adequada, estando fora dos limites considerados ideais, além dos estabelecidos pela legislação local. Para isso, os resultados são divididos em duas categorias, são elas: Useful Days and Sunday. Essa divisão foi necessária em virtude da grande diferença de tráfego de veículos existente no Domingo e nos demais dias, fato que altera significativamente os índices de CO<sub>2</sub>.

A árvore de classificação da Figura 30 mostra que existem horários em que a qualidade do ar está inadequada. Por exemplo, no caso do Ingá Park, nos horários compreendidos entre 7:09 – 8:47, 11:37 – 12:23 e 17:43 – 18:44 horas, os índices de dióxido de carbono estão acima do limite local, que é de 600 ppm. O Estádio Regional Willie Davids segue a mesma linha, também apresentando a concentração de CO<sub>2</sub> acima do limite nos horários entre 7:13 – 8:34, 11:32 – 12:29 e 13:14 – 13:41 horas. Já aos domingos, e nenhum momento é verificado períodos em que a qualidade do ar está baixo, fato explicado pela redução massiva do tráfego de veículos.

Com o objetivo de aumentar a confiabilidade da árvore de decisão, os dados foram fatiados, sendo utilizado 70% dos registros no aprendizado do algoritmo C4.5 e 30% para realização de testes dos resultados gerados do processo de data mining. O grau de acerto obtido foi 91,2%. Isso quer dizer que apenas 8,8% das concentrações de dióxido de carbono medidas pelos sensores estão fora do padrão encontrado durante a mineração dos dados.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a arquitetura e o processo de implementação de uma plataforma para monitoramento de dióxido de carbono. O termo plataforma foi utilizado em virtude do projeto oferecer uma solução completa no acompanhamento da qualidade do ar, apresentando funcionalidades que vão desde a medição em tempo real da poluição presente no ambiente, até o armazenamento, análise e mineração dos dados coletados pelos sensores. Com isso, é possível gerar informações e conhecimento que podem ser utilizados por estudiosos e pesquisadores da área ambiental.

Após a construção de toda a plataforma, ela foi colocada em funcionamento em dois dos principais parques da cidade de Maringá. Ao final do período de monitoramento, foi possível determinar que nos horários onde o fluxo de veículos é maior, geralmente por volta das 08:00, 12:00 e 18:00 horas, os níveis de concentração de dióxido de carbono superam facilmente os 600 ppm. Inclusive, foram registrados picos de 703 ppm, um valor bem acima do ideal. Entretanto, também foi possível observar que fora dos horários críticos, o CO<sub>2</sub> costuma se manter abaixo dos 600 ppm, fato que demonstra a influência dos carros na qualidade do ar.

Embora não seja o objetivo central deste trabalho, buscou-se desde o início projetar um mecanismo que tivesse baixo custo de construção. Devido ao uso de software livre e tecnologias de valor reduzido, custando \$99. Desta forma, considerando o custo e a quantidade de informações e conhecimento que a plataforma oferece, é possível concluir que o objetivo inicial da pesquisa foi alcançado.

### 5.1 Trabalhos Futuros

Apesar das inúmeras funcionalidades oferecidas pela plataforma proposta neste trabalho, algumas melhorias poderiam ser feitas. A princípio, seria interessante que fosse realizado um estudo visando otimizar questões importantes como consumo de bateria e a qualidade do sinal entre os nós da rede. Também poderiam ser acrescentados outros sensores, que pudessem mensurar grandezas diferentes, como umidade e temperatura por exemplo.

Outra sugestão, seria fazer um estudo com pesquisadores da área ambiental com o objetivo de levantar requisitos e características que poderiam ser melhoradas ou acrescentadas.

E uma terceira sugestão de melhoria foi observada durante o processo de monitoramento no parque do Ingá. Devido a densidade da mata no interior do parque, o sinal dos módulos Xbee ficavam comprometidos. Desta forma, seria interessante que nós sensores autônomos fossem implementados, com capacidade de medir, armazenar e enviar as concentrações de CO<sub>2</sub> para o servidor central.

## 6. REFERÊNCIAS

Abraham, Sherin; Li, Xinrong Li. Design of A Low-Cost Wireless Indoor Air Quality Sensor Network System. International Journal of Wireless Information Networks. USA, 2016.

Aisa, S. Implementation Raspberry Pi using private cloud for accessing personal data. Journal Penelitian Pos dan Informatika. Vol.6(2), pp.137-152, 2016.

Alhmiedat, T.; Samara, G. A Low Cost ZigBee Sensor Network Architecture for Indoor Air Quality Monitoring. International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), Vol. 15, No. 1, 2017.

Altamirano-Santillán, E.; Vallejo-Vallejo, G.; Cruz-Hurtado, J. et al. Monitoreo volcánico usando plataformas Arduino y Simulink. Revista de Investigación Desarrollo e Innovación, Vol.7(2), p.317-330, 2017.

Alwan, O.; Prahald Rao, K. Dedicated real-time monitoring system for health care using ZigBee. Healthcare technology letters, Vol.4(4), pp.142-144, 2017.

Alvarez-Campana, M.; López, G.; Vazquez, E. et al. Smart CEI Moncloa: An IoT-based Platform for People Flow and Environmental Monitoring on a Smart University Campus. Sensors, Vol.17(12), p.2856, 2017.

Andrews, A.; Kofler, J.; Trudeau, M. et al. CO<sub>2</sub>, CO, and CH<sub>4</sub> measurements from tall towers in the NOAA Earth System Research Laboratory's Global Greenhouse Gas Reference Network: instrumentation, uncertainty analysis, and recommendations for future high-accuracy greenhouse gas monitoring efforts. Atmospheric Measurement Techniques, Vol.7(2), p.647, 2014.

Arduíno. Disponível em <https://www.arduino.cc>. Acesso em 14/01/2018.

Arhami, M.; Kamali, N.; Rajabi, M. Predicting hourly air pollutant levels using artificial neural networks coupled with uncertainty analysis by Monte Carlo simulations. Environmental Science and Pollution Research, Vol.20(7), p.4777(13), 2013. (justifica gases mais tóxicos segundo ciencia)



Ashok, A., Dedoussi, I., Yim, S. et al. Quantifying the air quality-CO<sub>2</sub> tradeoff potential for airports. *Atmospheric Environment*, 99, 546-555, 2014.

Bezerra, Jadeilson. *Instrumentação Eletrônica Sem Fio – Transmitindo Dados com Módulos Xbee, ZigBee e PIC16F877H*. Novatec, São Paulo, 2014.

Boicea, A.; Serban, A.; Nicula, A. et al. Distributed databases replication methods for MySQL. *Annals of DAAAM & Proceedings*, p.167(2), 2010.

Cabral, S. MySQL 5.5: improving on the world's most popular open source database. *Database Trends & Applications*. Vol.25(3), p.30(1), 2011.

Chiang, C.; Chung, M.; Huang, M. Design of a Gas Sensor Transducer Circuitry With Calibration Ability for CO<sub>2</sub> Concentration Detection. *IEEE Sensors Journal*, Vol.16(16), pp.6367-6373, 2016.

Datasheet MG811 disponível em: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/172004/ETC2/MG811.html>. Acesso em 14/01/2018.

Dominguez-Morales, M. Jimenez-Fernández, A. et al. Technical Viability Study for Behavioral Monitoring of Wildlife Animals in Doñana: International Conference on Data Communication Networking, Athens, Greece, 2011.

Doña, C.; Chang, N.; Caselles, V. et al. Integrated satellite data fusion and mining for monitoring lake water quality status of the Albufera de Valencia in Spain. *Journal of Environmental Management*, Vol.151, pp.416-426, 2015.

Escorza, Victor. Guedea, Federico. "A Wireless Sensors Network Development for Environmental Monitoring using OPC Unified Architecture in a Generic Manufacturing System". International Conference on Mechatronics and Control (ICMC), China, 2014.

Evans, Martin; Hochenbaum, Jordan. *Arduino in Action*. Manning, EUA, 2013.

Faludi, Robert; *Wireless Sensor Networks*. Safari, EUA, 2011.

Gyorodi, C.; Gyorodi, R.; Pecherle, G. et al. Full-text search engine using MySQL. *International Journal of Computers, Communications and Control*, Vol.5(5), pp.735-743, 2010.

Górka, M., Lewicka-Szczebak, D. One-year spatial and temporal monitoring of concentration and carbon isotopic composition of atmospheric CO<sub>2</sub> in a Wrocław (SW Poland) city area. *Applied Geochemistry*, 35, 7-13, 2013.

Grimes-Casey, H.; Keoleian, G.; Willcox, B. Carbon emission targets for driving sustainable mobility with US light-duty vehicles. *Environmental science & technology*, Vol.43(3), pp.585-90, 2009.

Hanwei Electronics. Disponível em: <http://www.hwsensor.com/>. Acesso em 15/01/2018

Hodzic, A; Wiedinmyer, C; Salcedo, D. et al. Impact of trash burning on air quality in Mexico City. *Environmental science & technology*, Vol.46(9), pp.4950, 2012.

IAP – Instituto Ambiental Paranaense. “Indicadores da Qualidade do Ar”. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1076>. Acesso em: 01/02/2018.

Ingwersen, W.; Garmestani, A.; Gonzalez, M. A systems perspective on responses to climate change. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol.16(4), pp.719-73, 2014.

Jelinek, H.; Kelarev, A.; Robinson, D. et al. Using meta-regression data mining to improve predictions of performance based on heart rate dynamics for Australian football. *Applied Soft Computing Journal*, Vol.14, p.81(7), 2014.

Jones P.; Osborn T.; Briffa K. The Evolution of Climate Over the Last Millennium. *Science*, Vol.292, p.662, 2001.

Karol, I.; Kiselev, A.; Genikhovich, E. et al. Reduction of short-lived atmospheric pollutant emissions as an alternative strategy for climate-change moderation. *Atmospheric and Oceanic Physics*, Vol.49(5), pp.461-478, 2013.

Kawsar, A.; Tasnuba, J. Comparative Analysis of Data Mining Classification Algorithms in Type-2 Diabetes Prediction Data Using WEKA Approach. *International Journal of Science and Engineering*. Vol.7(2), pp.155-160, 2014.

Kay, Russell. ZigBee - Quick Study. *Computerworld*. Vol.40(20),p.46(1), 2006.

Kuang-Yow Liana, Sung-Jung Hsiaoa, Wen-Tsai Sungb. Intelligent multi-sensor control system based on innovative technology integration via ZigBee and Wi-Fi networks. *Journal of Network and Computer Applications*. Vol.36(2), p.756(12), 2013.

Kuehn, B. More Than 7 Million Air Pollution Deaths Each Year. *Journal of the American Medical Association*, Vol.311(15), pp.1486-1486, 2014.

Kumar, A.; Hancke, G. A Zigbee-Based Animal Health Monitoring System. *Sensors Journal*. Vol.15(1), pp.610-617, 2015.

Lee, H.; Lin, H. Design and Evaluation of an Open-Source Wireless Mesh Networking Module for Environmental Monitoring. *IEEE Sensors Journal*. Vol.16(7), pp.2162-2171, 2016.

Mao, J.; Fan, S.; Jacob, D. et al. Radical loss in the atmosphere from Cu-Fe redox coupling in aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics* Vol.13(2): 509–519, 2013.

Marc, M., Tobiszewskia, M., Zabiegałaa, B. et al. Current air quality analytics and monitoring: A review. *Analytica Chimica Acta*, 853, 116-126, 2015

McRoberts, Michael. *Arduíno Básico*. Novatec, Brasil, 2013.

Mead, M.; Popoola, O.; Stewart, G. et al. The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, Vol.70, pp.186-203, 2013.

Mehediñtu, A.; Pîrvu, C.; Etegan, C. Indexing Strategies for Optimizing Queries on MySQL. *Annals of the University of Petrosani*, Issue 4, pp.201-214, 2010.

Murad, S.; Harun, A.; Mohyar, S. et al. Design of Aquaponics Water Monitoring System Using Arduino Microcontroller. AIP Conference Proceedings, Vol.1885(1), p.1-8, 2017.

Muscatiello, N.; Mccarthy, A.; Kielb, C. et al. Classroom conditions and CO<sub>2</sub> concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. Indoor Air, Vol.25(2), pp.157-167, 2015.

Navathe, S.; Elmasri, R. Sistema de Banco de Dados. Editora Pearson, SP, 2011.

Nizar, N.; Ong, N.; Aziz, M. et al. Portable Water Quality Monitoring System. AIP Conference Proceedings, Vol.1885(1), p.1-6, 2017.

Pedersen, T.; Nielsen, K.; Petersen, S. Method for room occupancy detection based on trajectory of indoor climate sensor data. Building and Environment. Vol.115, pp.147-156, 2017.

Pereira, R.; Dupont, I.; Carvalho, P. et al. IoT embedded linux system based on Raspberry Pi applied to real-time cloud monitoring of a decentralized photovoltaic plant. Journal Measurement, Vol.114, pp.286-297, 2018.

Raspberry Pi. Disponível em <http://www.raspberrypi.org>. Acesso em 16/01/2018.

Resitoglu, I.; Altinisik, K.; Keskin, A. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Clean Technologies and Environmental Policy, Vol.17(1), pp.15-27, 2015.

Richardson, M.; Wallace, S. Getting Started with Raspberry Pi. O'Reilly, EUA, 2012.

Rodriguez, M.; Uriarte, L. et al. Wireless Sensor Network for Data-Center Environmental Monitoring. Fifth International Conference on Sensing Technology, New Zealand, 2011.

Satish, U.; Mendell, M. et al. Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance. Environ Health Perspect. Vol.120, p.1671–1677, 2012.

Schneider, A. Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach. *Remote Sensing of Environment*, Vol.124, pp.689-704, 2012.

Setsirichok, D.; Piroonratana, T.; Wongseree, W. et al. Classification of complete blood count and haemoglobin typing data by a C4.5 decision tree, a naïve Bayes classifier and a multilayer perceptron for thalassaemia screening. *Biomedical Signal Processing and Control*. Vol.7(2), pp.202-212, 2012.

Shamah, S.; Cunningham, B. Label-free cell-based assays using photonic crystal optical biosensors. *The Analyst*. Vol.136(6), pp.1090-102, 2011.

Silberschatz, A.; Korth H.; Sudarshan S. *Sistemas de Banco de Dados*. Editora Campus, SP, 2006.

Song, Yongxian; Ma, Juanli; Zhang, Xianjin; Feng, Yuan; Design of Wireless Sensor Network-Based Greenhouse Environment Monitoring and Automatic Control System. *Journal of Networks*, USA, 2012.

Suganya, R.; Suseendhar, P. Online Monitoring of Green House Gas Leakage in Industries. *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technolog*. India, 2014.

Sun, H.; Wang, A.; Zhai, J. et al. Impacts of global warming of 1.5 °C and 2.0 °C on precipitation patterns in China by regional climate model. *Atmospheric Research*, Vol.203, pp.83-94, 2018.

Tayade S.; Chandak, D.; Choudhari, P. Real-Time Monitoring of Geological CO<sub>2</sub> Storage and Leakage Using Wireless Sensor. *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, India, 2015.

Trail, M.; Tsimpidi, A.; Liu, P. et al. Impacts of potential CO<sub>2</sub>-reduction policies on air quality in the United States. *Environmental science & technology*, Vol.49(8), pp.5133-41, 2015.

Upton, E.; Halfacree, G. *Raspeberry Pi – User Guide*. Third Edition: Wiley, UK, 2014.

Vaas, L. Oracle Gives MySQL a Raspberry for Valentine's Day. Eweek Journal, 2006.

Vinodh, S.; Selvan, K.; Prakash, N. Evaluation of sustainability using fuzzy association rules mining. Clean Technologies and Environmental Policy, 2011.

Xufei, Mao. Xin, Miao. Yuan, He. Xiang-Yang, Li. Yunhao, Liu. CitySee: Urban CO<sub>2</sub> Monitoring with Sensors. IEEE INFOCOM, EUA, 2012.

Xbee. Xbee/Xbee-PRO Specification. Disponível em <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90002002.pdf>. Acesso em 11/02/2018.

Yulsman, Tom. CO<sub>2</sub> Hits 400 ppm - Does It Matter?. Discovery Magazine, Vol.35(1), p. 194, 2014.

Zachmann, G.; European climate finance: securing the best return. Policy Briefs. Vol.77, 2015.

ZigBee. ZigBee Oficial Documentation. Disponível em <http://www.zigbee.org>. Acesso em 25/01/2018.

Zogla, G.; Blumberga, A. Energy Consumption and Indoor Air Quality of Different Ventilation Possibilities in a New Apartment Building. Scientific Journal of Riga Technical University. Vol.4, p.130, 2010. (justifca 600)

## 7. ANEXOS

### 7.1 Algoritmo de interpretação do sensor MG811

```

#define PIN_IN (0) // pino de entrada analógico
#define PIN_BOOL (2)
#define AMP_DC (8.5) // define o ganho DC do amplificador

#define QTD_AMOSTRA (50) //Qtd de medidas por amostra
#define INTERV_AMOSTRA (5) //intervalo de tempo entre cada amostra

//Valores que devem ser ajustados na calibração
#define PONTO_BAIXO (0.1683) //voltagem saída para 494ppm
#define PONTO_ALTO (0,1124) //voltagem saída para 658ppm

float CO2Curva[3]={2.602,PONTO_BAIXO,(PONTO_ALTO/(2.602-3))};

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PIN_BOOL, INPUT);
  digitalWrite(PIN_BOOL, HIGH);
  Serial.print("MG-811 Demonstration\n");
}

void loop()
{
  int percentage;
  float volts;

  volts = MGLeitura(PIN_IN);
  Serial.print( "MG811:" );
  Serial.print(volts);
  Serial.print( "V      " );

  percentage = MGPorcentagem(volts,CO2Curva);
  Serial.print("CO2:");
  if (percentage == -1) {
    Serial.print( "<400" );
  } else {
    Serial.print(percentage);
  }

  Serial.print( "ppm" );
  Serial.print("\n");

  if (digitalRead(PIN_BOOL) ){
    Serial.print( "=====BOOL is HIGH=====" );
  } else {

```

```

    Serial.print( "=====BOOL is LOW=====" );
}

Serial.print("\n");
delay(200);
}

/*****Funções*****/
float MGLeitura(int PIN_IN)
{
    int i;
    float v=0;
    for (i=0;i<INTERV_AMOSTRA;i++) {
        v += analogRead(PIN_IN);
        delay(QTD_AMOSTRA);
    }
    v = (v/INTERV_AMOSTRA) *5/1024 ;
    return v;
}

int MGPorcentagem(float volts, float *pcurva)
{
    if ((volts/AMP_DC )>=PONTO_BAIXO) {
        return -1;
    } else {
        return pow(10, ((volts/AMP_DC)-pcurva[1])/pcurva[2]+pcurva[0]);
    }
}

```