SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR BASEADO EM TEMPO REAL

Resumo Considerando os padrões apresentados na RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. O presente trabalho apresetna um sistema de mensuração de gases portátil e de baixo custo. O sistema foi desenvolvido utilizando um vetor com sete sensores de gases e tendo no núcleo uma placa de desenvolvimento BeagleBone Black a qual exerceu a função de placa de aquisição, banco de dados e servidor. O sistema teve como finalidade entregar ao usuário uma interface (página web) para visualização gráfica do comportamento dos gases em tempo real e histórico de cada sensor com acessibilidade via rede local.
Palavras Chaves: Sensores; Qualidade do Ar; Monitoramento; Sistemas Embarcados.

Abstract *Considering the standards presented in CONAMA RESOLUTION No. 3, of June 28, 1990. The present work had the objective of designing and developing a portable and low cost gas measurement system. The system was developed using a vector with seven gas sensors and having in the core a BeagleBone Black development board which acted as an acquisition card, database and server. The system aimed to provide the user with an interface (web page) for graphical visualization of the gas behavior in real time and history of each sensor with accessibility via local network.*
Key Words: *Sensors; Air Quality; Monitoring; Embedded Systems.*

1. INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento nacional, baseado no crescimento industrial, fez com que as indústrias fossem construídas sem os adequados e necessários sistemas de controle de emissão, ou até mesmo implantadas em áreas onde não é permitida a dispersão de poluentes, sujeitando a população ao redor das mesmas a conviverem em áreas com deterioração da qualidade do ar.
Esse processo de poluição é comum na história, em diferentes épocas, e em todo o mundo desenvolvido. A sociedade passou a dar importância ao assunto, principalmente depois dos grandes episódios de poluição ambiental ocorridos em países desenvolvidos, como são os casos do envenenamento da Baía de Minamata, no Japão, a contaminação do solo de Love Canal, nos Estados Unidos e a contaminação radioativa em Three Miles Island e Chernobyl. (CAVALCANTE, 2010)
Devido à rápida crescente da urbanização e da industrialização no Brasil em meados da década de 70, tornou-se necessária, da parte do Governo Brasileiro, a criação de medidas de controle da qualidade do ar, orientado para as emissões de poluentes por fontes fixas (indústrias) e por fontes móveis (veículos automóveis). (CAVALCANTE, 2010)
Para tanto, a primeira legislação foi instituída em 1986, por Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) que discorre sobre: diminuir os níveis de emissão poluentes por veículos automotivos com o objetivo de atender os padrões de qualidade do ar impostos, com foco nos grandes centros urbanos; incentivar o desenvolvimento tecnológico para tais fins, tanto na engenharia automobilística, quanto no desenvolvimento de equipamentos capazes da coleta e do monitoramento da emissão de poluentes; realizar programas de inspeção e manutenção para os automóveis já em utilização no mercado; conscientizar a população sobre a poluição causada pelo automóvel; monitorar os resultados concebidos; promover a melhoria nos combustíveis disponíveis para a sociedade. Todos esses itens visam à diminuição de emissões na atmosfera (CONAMA, 1986). A imposição desta resolução à indústria automotiva, de atender aos padrões de emissão estabelecidos para os novos modelos, levou ao desenvolvimento de novas soluções tecnológicas, como a injeção eletrônica e os conversores catalíticos, reduzindo o nível de emissões nos anos seguintes, como solicitava a nova legislação (CAVALCANTE, 2010).
Em 1989, o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), com o objetivo de proporcionar de forma ambientalmente segura, o progresso nacional, econômico e social, limitando os níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, visando à melhora da qualidade do ar, atendendo rigorosamente os padrões estabelecidos em resolução e não prejudicando a qualidade do ar de áreas definidas como não degradadas. O programa adota como estratégia: Definir Limites Máximos de Emissão, Adoção de Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, Prevenção de Deterioração Significativa da Qualidade do Ar, Monitoramento da Qualidade do Ar, Gerenciamento do Licenciamento de Fontes de Poluição do Ar, Inventário Nacional de Fontes e Poluentes do Ar, Gestões Políticas, Desenvolvimento Nacional na Área de Poluição do Ar, Ações de Curto, Médio e Longo Prazo (CONAMA, 1989).

Um ano depois, em 1990, foi instituída pelo CONAMA a Resolução n°3/90 que complementa a Resolução n° 5/86 e dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previsto no PRONAR. A resolução considera a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no país e, conforme previa a resolução n° 5/86, o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito. Por ela é definido que padrões da qualidade do ar são concentrações de determinados poluentes atmosféricos que, quando superados, são capazes de comprometer a saúde e bem-estar da população, assim como causar danos à fauna e flora, aos materiais e ao meio ambiente como um todo. São eleitos como Padrões da qualidade do ar, os seguintes elementos: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). A mesma resolução estabelece medidas de emergência a serem tomadas em casos de episódios críticos de poluição do ar. Da mesma forma foi atribuída a responsabilidade do monitoramento da qualidade do ar aos estados. (CONAMA, 1990)

A Resolução CONAMA n°05, previa em seu plano de ação, uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar, devido à necessidade de conhecer e acompanhar os níveis das variáveis referentes à qualidade do ar, como forma de controlar as medidas tomadas. O sistema de monitoramento foi predefinido como uma ação de médio prazo. (CONAMA, 1989)

Dentro deste contexto o monitoramento constitui-se em parte fundamental da administração ambiental, pois só com ele é possível o conhecimento das características ambientais locais, das fontes poluidoras e dos poluentes gerados, proporcionando, assim, a comparação com os padrões estabelecidos. A implantação de um sistema de monitoramento das emissões atmosféricas em processos potencialmente poluidores é um fator de alta importância para a gestão da qualidade do ar, além de proporcionar um acompanhamento eficaz da conformidade e evolução das emissões dos poluentes atmosféricos envolvidos.

O monitoramento e análise das emissões permitem, ainda, o desenvolvimento de ajustes nos processos poluidores relacionados e nos sistemas de controle dos mesmos, reduzindo perdas e descontrole operacionais, que, em muitos casos remetem ao aumento na geração e emissão de poluentes atmosféricos.

Dentre os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar, é possível citar:

- Monitorar sistematicamente a qualidade do ar e comparar resultados obtidos com padrões da legislação em vigor;
- Permitir gerar relatórios da qualidade do ar, gerando subsídio para ações relacionadas ao controle de emissões;
- Indicar a eficiência das ações de controle implantadas;
- Averiguar os planos de dispersão aplicados na região;
- Avaliar os programas de gestão da qualidade do ar em áreas degradadas;
- Auxiliar em projetos que visam a saúde e melhoria da qualidade de vida da população;
- Os resultados do monitoramento devem ser divulgadas para a população (CAVALCANTE, 2010).

1.1. Aquisição e Processamento de dados

Chamamos de aquisição de dados o processo pelo qual, através de computadores industriais ou pessoais, um fenômeno físico é transformado em um sinal digital proporcional, para que posteriormente seja possível o armazenamento, processamento e análise.

Por apresentarem alto desempenho e se mostrarem versáteis nas mais diversas aplicações de aquisição de dados, os microcomputadores se apresentam como uma ótima ferramenta para o assunto. Ademais, uma vasta gama de linguagem de alto nível e bibliotecas está disponível para estes equipamentos, proporcionando certa facilidade para se desenvolver aplicações dedicadas e de alto desempenho, sem consumir processamento do dispositivo (Serrano, 2004).

Dentro deste contexto, uma das soluções encontradas para o desenvolvimento do projeto, foi utilizar a placa de desenvolvimento *BeagleBone Black* (Figura 4) por atender todos os requisitos de aquisição e processamentos de dados de maneira portátil e com as facilidades proporcionadas por um microcomputador mencionadas anteriormente.

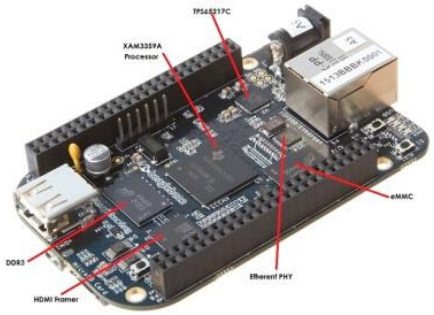


Figura 1 - BeagleBone Black

A *BeagleBone Black* é uma ferramenta poderosa de prototipagem rápida e para desenvolvimento de projetos eletrônicos. É baseada no microprocessador Sitara AMD335X da Texas Instruments, composta por um processador ARM Cortex-A8 com 1GHz de velocidade, possui acelerador gráfico 3D, memória RAM e Flash, U

1.1.1. Materiais Particulados

Material particulado é o nome utilizado para caracterizar uma mistura física e química de várias substâncias contidas em suspensão no ar, como sólidos ou em forma de gotículas. Entre todos os poluentes, o material particulado se mostra a forma mais visível de poluição, não necessitando de alta tecnologia para identifica-los. Toda matéria particulada em suspensão é chamada de matéria particulada total, entretanto, partículas inaláveis são aquelas de tamanho suficiente para alcançar os pulmões por meio das vias aéreas superiores.
Partículas com diâmetro entre 2,5 e 30 µm são originadas de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da superfície terrestre, enquanto partículas com diâmetro menor que 2,5 µm são decorrentes de fontes como automóveis, incineradores e termoelétricas.
Para cada tipo de partícula foram fixados limites de concentração no ar, como todos os outros gases. Um resumo dos padrões de qualidade é apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Padrões de Qualidade do Ar segundo CONAMA

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário µg/m3	Padrão Secundário µg/m3	Método de Medição
Monóxido de Carbono	1 hora (1) 8 horas (2)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infravermelho não dispersivo
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1) MAA (3)	320 100	190 100	Quimiluminescência
Dióxido de Enxofre	24 horas (1) MAA (3)	365 80	100 40	Pararosanílina
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Particulas Total em Suspensão	24 horas (1) MGA (3)	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Fumaça	24 horas (1) MAA (3)	150 60	100 40	Refletância
Partículas Inaláveis	24 horas (1) MAA (3)	150 50	150 50	Separação Inercial/Filtração

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano
(2) Média geométrica anual
(3) Média aritmética anual

1.2. Sensores

Para poder caracterizar a qualidade do ar, é necessário medir a concentração de todos os poluentes descritos até o momento. Para isso, utilizam-se sensores específicos para cada variável a ser medida.

Sensor é um dispositivo utilizado para indicação de parâmetros, que apresenta uma resposta quando recebe um estímulo ou um sinal. Essa resposta esta relacionada com o fenômeno que causou o estímulo. Os sensores construídos pelo homem, em muitos casos, convertem energia em sinais elétricos, esses tipos específicos de sensores são chamados de transdutores.

Há dois tipos sensores utilizados para indicar a concentração de gases, os de metal-óxido e os eletroquímicos, quem transformam a concentração do poluente em tensão e em corrente, respectivamente (CARVALHO, 2008).

1.2.1. Sensor Metal-Óxido

Os sensores óxidos metálicos são assim chamados por possuírem uma fina membrana sensitiva composta por um material óxido metálico, normalmente dióxido de estanho (S_nO_2). Esse tipo de material se comporta como um semicondutor quando submetido a altas temperaturas, portanto, tais sensores possuem uma estrutura de aquecimento. Quando devidamente aquecidos e sua membrana sensitiva em contato com o gás a ser monitorado, o componente sofre alterações locais em sua condutividade elétrica, ocasionando variações na resistência elétrica do componente. A Figura 2 exemplifica a estrutura de um sensor metal-óxido e mostra em elemento sensitivo, o local onde ocorrem as alterações químicas.

Analisando as modificações da resistência durante um determinado tempo e comparando com valores de referência, é possível levantar algumas informações sobre a variação da concentração dos gases em questão. Sensores óxidos metálicos são mais complexos que os outros, pois combinam efeitos térmicos, químicos e elétricos. (SENSORTECH, 2007)

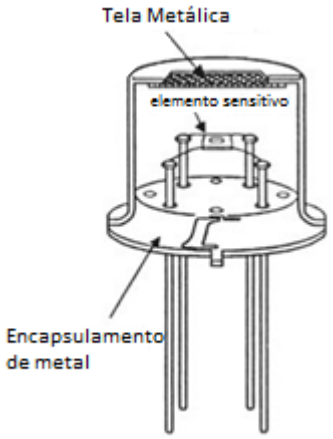


Figura 2 - Estrutura do sensor Metal-Óxido

1.2.2. Sensor Eletroquímico

Os sensores eletroquímicos operam produzindo sinais elétricos proporcionais às reações causadas pelas concentrações dos gases de interesse. A estrutura básica de um sensor deste tipo consiste em três eletrodos, o *sensing electrode*, o *counter electrode* e o *reference electrode*. A Figura 3 mostra a configuração básica de um sensor eletroquímico.

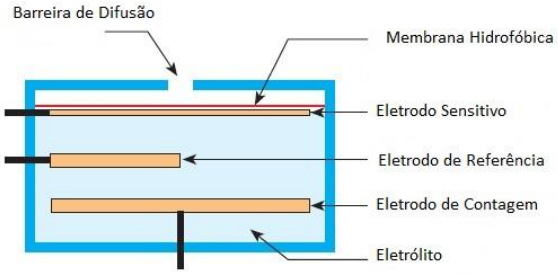


Figura 3 - Estrutura básica de um sensor eletroquímico.

Gases que entram em contato com o com a membrana hidrofóbica eventualmente alcançam a superfície do eletrodo sensitivo. Essa membrana permite que somente a quantidade adequada de gás tenha contado com o sensor e impermeabiliza o eletrodo.
Quando o gás que atravessa pela barreira entra em contato com o eletrodo sensitivo, uma reação química ocorre: perda de elétrons (oxidação) nos casos de CO, H2S, SO2 e NO, ou ganho de elétrons (redução) nos casos de O2, NO2, e Cl2. A reação depende do tipo do sensor. Se ocorrer oxidação, por exemplo, a reação complementar ocorre no eletrodo de contagem. Portanto, algumas cargas elétricas fluem entre os terminais de eletrodo sensitivo e eletrodo de contagem por meio do eletrólito contido entre eles, gerando corrente elétrica. O sentido da corrente vai depender do tipo do sensor. O eletrodo de referência tem a função de manter estável a diferença de potencial entre o eletrodo sensitivo e o eletrólito (SENNEQUIER, 2013).

1.3. Aquisição e Processamento de dados

Chamamos de aquisição de dados o processo pelo qual, através de computadores industriais ou pessoais, um fenômeno físico é transformado em um sinal digital proporcional, para que posteriormente seja possível o armazenamento, processamento e análise.
Por apresentarem alto desempenho e se mostrarem versáteis nas mais diversas aplicações de aquisição de dados, os microcomputadores se apresentam como uma ótima ferramenta para o assunto. Ademais, uma vasta gama de linguagem de alto nível e bibliotecas está disponível para estes equipamentos, proporcionando certa facilidade para se desenvolver aplicações dedicadas e de alto desempenho, sem consumir processamento do dispositivo (Serrano, 2004).
Dentro deste contexto, uma das soluções encontradas para o desenvolvimento do projeto, foi utilizar a placa de desenvolvimento *BeagleBone Black* (Figura 4) por atender todos os requisitos de aquisição e processamentos de dados de maneira portátil e com as facilidades proporcionadas por um microcomputador mencionadas anteriormente.

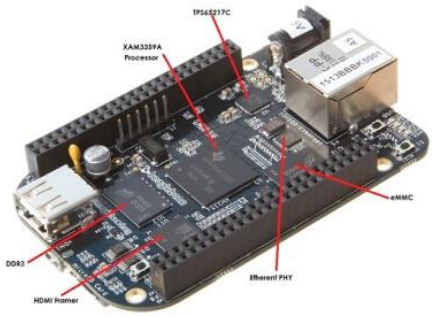


Figura 4 - BeagleBone Black

A *BeagleBone Black* é uma ferramenta poderosa de prototipagem rápida e para desenvolvimento de projetos eletrônicos. É baseada no microprocessador Sitara AMD335X da Texas Instruments, composta por um processador ARM Cortex-A8 com 1GHz de velocidade, possui acelerador gráfico 3D, memória RAM e Flash, USB, HDMI, Ethernet, entre outras especificações, como é possível visualizar na Tabela 2.

Tabela 2 - Configurações do BeagleBone Black

BeagleBone Black	
Processador	1GHz TI Sitara AM3359 ARM Cortex-A8
Memória RAM	512 MB DDR3
Armazenamento	2 GB eMMC + MicroSD
Audio/Vídeo	1 Micro HDMI
Sistemas Operacionais	Angtrom, Ubuntu, Android...
Alimentação	5V
GPIO	92 pinos

Periféricos	1 USB Host 1 USB Client 1 Ethernet

.

1.4. Banco de Dados

Banco de dados, por definição, é uma coleção de dados logicamente relacionados, que apresentam aspectos inerentes a um universo delimitado. Entende-se por dado, toda informação que representa um significado dentro de tal contexto. Um banco de dados é construído e preenchido com propósitos específicos e representam fenômenos do mundo real. Mudanças neste mundo real implicam e alterações no banco de dados.
Os elementos que constituem e se referem aos dados relevantes de uma base de dados são chamados de entidades. Normalmente as entidades são expressas em forma de tabelas (DUARTE, 2006).
A linha de uma tabela contém informações sobre um determinado item, e são determinadas registros. Os componentes de uma tabela podem ser observados na Figura 5. Um conjunto de tabelas que se relacionam entre si formam um banco de dados.

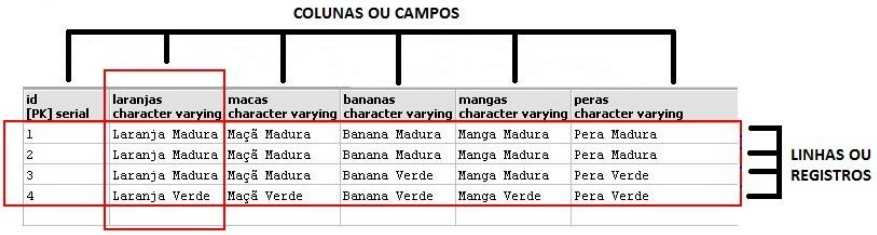


Figura 5 - Componentes de uma Tabela.

Um banco de dados deve permitir a inserção de novos registros, a exclusão, caso necessário de um registro, a alteração de alguma informação e consulta das informações contidas nos registros (LIVI & SILVEIRA, 2006).
Para realizar tais alterações, consultas e gerenciamento de banco de dados, existem softwares específicos para essa função. Esses softwares são os Sistemas Gerenciadores de Base de Dados (SGBD), que consistem em uma variedade de programas que permitem aos usuários criarem e manipularem os bancos de dados. Dentre as principais funções de um SGBD estão as de definir, construir e manipular um banco de dados (TAKAI, ITALIANO, & FERREIRA, 2005).
O MySQL é um servidor SGBD relacional que utiliza a linguagem de consulta estruturada (SQL), muito rápido, multitarefa e multiusuário. Projetado incialmente para aplicações de pequeno e médio porte, atualmente possui todas as características para aplicações de grande porte. Os usuários do MySQL, dependendo da aplicação, podem escolher utilizá-lo como um programa de código livre ou comprar licenças, pois, possui um sistema de licença dual (AB, 2010).
A grande vantagem de utilizar o MySQL no modo *open-source* é que o banco de dados por si só não agregará valor ao produto desenvolvido. Outra grande vantagem deste SGBD é oferecer suporte a diversas plataformas. Dentre os sistemas operacionais; Windows, Linux e Mac e dentre as linguagens de programação; PHP, Python, C, C++, etc. Dessa, forma é possível criar produtos em diversas combinações de *hardwares* e sistemas operacionais (MySQL, 2014).

1.5. Interface Homem Máquina – Página Web

Um sistema supervisório, ou IHM (interface homem-máquina), é uma interface amigável (eficiente e ergonômica), cujo objetivo é atuar como um canal de comunicação entre o homem e o computador, permitir a supervisão remota e muitas vezes o comando do para o processo. A IHM geralmente está instalada em locais remotos traduzindo os sinais vindos do controlador para sinais gráficos de fácil entendimento (SILVA, 2014).
A telas de IHM podem ser desenvolvidas com softwares específicos como o SCADA para CLP, programação visual como Visual basic e C++ Builder ou no caso deste projeto, HTML através de uma página web, com o auxilio de PHP e MySQL.

Redes e Servidor Web

Rede é um sistema de comunicação que interliga um ou mais computadores e equipamentos, com o objetivo de permitir o compartilhamento de recursos e troca de informações entre os mesmos.
É de interesse deste projeto que, a página web esteja disponível para todos os equipamentos munidos de um navegador e conectados à mesma rede, ou seja, conectados a uma rede local.
LAN (*local área networks*) são redes de computadores que cobrem uma área geográfica limitada como edifícios, escritórios e universidades. Neste tipo de rede, todos os computadores estão conectados e compartilham do mesmo protocolo de rede. A tecnologia de rede mais utilizada para redes locais é a *Ethernet*.
Ethernet é um padão de transmissão de dados que usa o protocolo de acesso randômico CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) onde, todos os computadores estão ligados a uma mesma linha de comunicação e os dados são controlados pela subcamada MAC (*Media Access Control*).
A Ethernet segue os padrões da norma IEEE 802.3 (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*), que padroniza a transmissão de dados e as interconexões para redes locais. Além de eficiente, a tecnologia de rede *Ethernet* provê equipamentos de custo acessível para seu funcionamento, fato que ajudou a difundi-la.
Um servidor web é um *software* responsável por hospedar páginas web e implementar o protocolo HTTP no lado do servido. O protocolo HTTP define como o as páginas web vão ser solicitadas pelos navegadores aos servidores web. Quando uma página web é solicitada, toda a comunicação é realizada dentro do protocolo HTTP e o arquivo entregue ao cliente, será um HTML (Cantú, 2003).
O LigHTTPD é um servidor web bastante utilizado. Sites como YouTube e wikipedia utilizam este servidor. Suas principais características são a segurança, performance e flexibilidade. Foi desenvolvido para ambientes que necessitam de alto desempenho e baixo consumo de memória.
Por fim, devido a suas característica e disponibilizar o pacote de instalação para a distribuição Angstron, o LigHTTPD foi escolhido como o servidor web do projeto (LIGHTTPD, s.d).
Com uma página web trabalhando integrada a banco de dados e sendo disponibilizada via rede por um servidor, é possível desenvolver uma aplicação relacionada a monitoramento.

2. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Este capítulo do trabalho apresentará as metodologias e os processos para a implementação do projeto e será fundamentado seguindo ao diagrama da Figura 6.

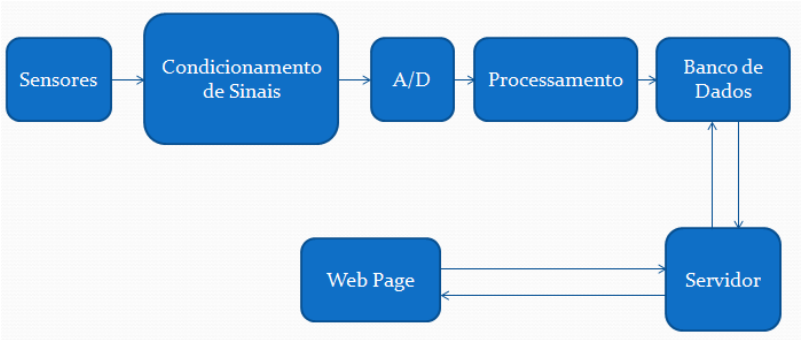


Figura 6 - Diagrama de bolocos do Sistema.

2.1. Sensores e Circuitos

Nesta seção serão detalhados os tipos de sensores utilizados para o sistema, bem como os circuitos para que possam executar suas funções.

2.1.1. Sensores de Gás

O sistema de monitoramento utiliza sensores para cada gás estabelecido como Padrão de Qualidade do Ar. Os gases que fazem parte dos Padrões de Qualidade do Ar são o CO, O_3, NO_2 e o SO_2, como descrito na seção 1.1. Foi escolhido um sensor para cada gás em questão, sendo três deles de Metal-Óxido e um Eletroquímico. Os principais critérios de seleção foram custo e simplicidade de funcionamento. Os sensores escolhidos são especificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos Sensores de Gás.

Sensores				
Gás	**Modelo**	**Tipo**	**Range (ppm)**	**Fabricante**
CO	MICS-5525	Metal-Óxido	1 - 1000	SGX Sensortech
O_3	MICS-2610	Metal-Óxido	0.01 - 1	SGX Sensortech
NO_2	MICS-2710	Metal-Óxido	0.05 - 5	SGX Sensortech
SO_2	EC4-2000	Eletroquímico	0 - 2000	SGX Sensortech

Os sensores de tecnologia Metal-Óxido possuem uma resistência de aquecimento em sua estrutura, que deve ser alimentada conforme especificações. Quando tal resistência é aquecida adequadamente e o sensor é submetido a uma concentração do gás o qual ele é sensível, como visto na seção 1.2.1, ocorrem alterações na resistência do sensor. Respeitando essas características que os circuitos sugeridos nos *datasheets* trabalham.
No caso da resistência interna de aquecimento, os datasheets fornecem informações de corrente, tensão e potência máximas para o correto funcionamento. O circuito sugerido pelo fabricante baseia-se em um divisor de tensão e é mostrado na Figura 7 (SENSORTECH, 2007).

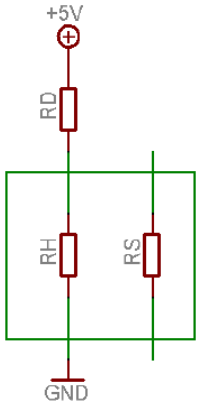


Figura 7 - Divisor de Tensão para Resistência de Aquecimento.

No caso, R_D é a resistência do divisor de tensão e R_H é a resistência de aquecimento. A resistência do divisor de tensão deve ser calculada de modo a respeitar as características de cada sensor. As características típicas de aquecimento de cada sensor são apresentadas na Figura 7 (SENSORTECH, 2009)(SENSORTECH, 2008a) (SENSORTECH, 2008b).

Tabela 4 - Características de Aquecimento dos Sensores Metal-Óxido.

Características				
Sensor	RH (Ohm)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (mW)
CO	74	2.4	32	76
O3	68	2.35	34	80
NO2	66	1.7	26	43

As resistências do divisor de tensão para cada sensor foram calculadas utilizando os próprios dados fornecidos pelo *datasheet*, utilizando a equação 1:

$$R_D = \frac{Vcc - V_H}{I_H} \quad (1)$$

Desse modo, foram determinados os valores R_D para os sensores de CO, O_3, NO_2, como sendo 82Ω, 78Ω e 32 Ω respectivamente. Portanto, os requisitos do sistema de aquecimento foram atendidos.
A tensão de alimentação do circuito de aquecimento, por recomendação do fabricante, pode ser no máximo 5V. Para atender a essa especificação de alimentação o sistema de aquecimento, foi adicionado ao *hardware* uma fonte de tensão regulada baseada no circuito integrado (CI) LM7805. O CI 7805 recebe em sua entrada

um sinal de 12V proveniente de uma fonte de tensão externa e converte para 5V, disponibilizando esse nível de tensão para os circuitos que necessitam (CORPORATION F. S., 2013). O circuito regulador de tensão foi desenvolvido de acordo com a Figura 8, seguindo orientações de aplicações típicas fornecida pelo *datasheet*.

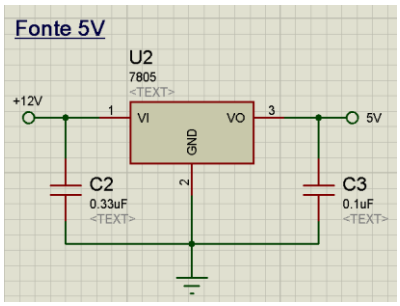


Figura 8 - Regulador de Tensão 7805 - 5V.

O circuito sugerido pelo fabricante para determinar as variações da resistência do sensor R_S é mostrado na Figura 9. Este circuito utiliza novamente a configuração divisor de tensão, onde, uma resistência de carga é conectada à resistência do sensor. A queda de tensão em cima da resistência de carga será a tensão de saída do circuito.

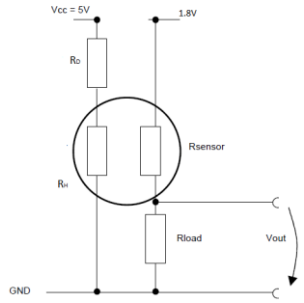


Figura 9 - Divisor de Tensão para Medida de Rs.

Quando o sensor é submetido a concentrações de gases, ocorrem variações na resistência R_S. Variações em R_S implicam em variações em R_L. Portanto, a queda de tensão proporcionada por R_L possui uma relação com a resistência R_S, podendo assim, definir o valor da resistência do sensor a partir da equação 2 que segue: (SENSORTECH, 2009)(SENSORTECH, 2008a) (SENSORTECH, 2008b)

$$R_S = \frac{R_L * V_L}{V_{CC} - V_L} \quad (2)$$

O nível de tensão entregue à alimentação deste circuito do sensor foi definido para 1,8V sendo este, gerado por um circuito regulador dedicado a este propósito. A escolha desse nível de tensão deve-se ao fato de as entradas analógicas do BBB suportarem no máximo 1,8V (Richardson, 2013). Consequentemente, qualquer valor que a resistência R_S assumir, o valor da tensão de saída estará dentro da especificação máxima de entrada do A/D.
A fonte de tensão regulada de 1,8V foi desenvolvida baseada no CI LM317. Trata-se de um regulador de tensão ajustável simples de configurar, pois, utiliza somente duas resistências. A tensão de saído do regulador é dada pela equação 3.

$$V_{out} = 1{,}25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (3)$$

Para que a tensão de saída seja 1,8V, foram definidos os valores de 110Ω e 240Ω para as resistências R_2 e R_1 respectivamente, sendo o valor de R_1, especificado pelo fabricante (SEMICONDUCTOR, Datasheet LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Ajustable Regulator, 1996).
A fonte de tensão de 3,8V foi configurada utilizando o LM317 e respeitando todos os critérios listados anteriormente. Para tal as resistências R_1 e R_2 receberam os valores de 240Ω e 499Ω respectivamente.
Por outro lado, a fonte de tensão de -3,8V foi construída com base no CI LM337, um regulador de tensão ajustável, que possui funcionamento similar ao LM317 porém, trabalha com tensões negativas. A tensão de saída obedece a seguinte equação 4.

$$V_{out} = -1{,}25 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (4)$$

Para que a tensão de saída seja -3,8V, foi necessário uma fonte externa de -12V e foram definidos os valores de 120Ω e 249Ω para as resistências R_1 e R_2 respectivamente, sendo o valor de R_1, especificado pelo fabricante (INDUSTRIES, 2012). O circuito desenvolvido pode ser observado na Figura 10.

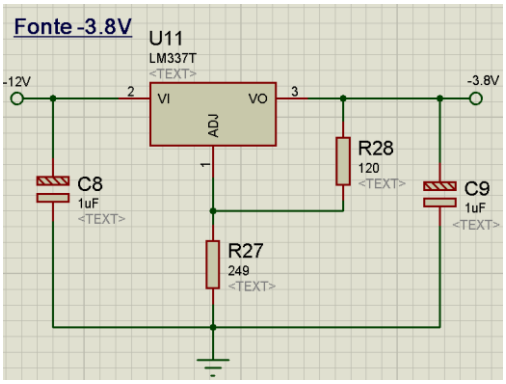


Figura 10 - Regulador de Tensão Negativa -3,8V.

Todo estudo desenvolvido até o momento é válido para os três sensores de Metal-Óxido diferenciando apenas em algumas particularidades, como as resistências de aquecimento e de carga. A integração de todos os sistemas descritos anteriormente pode ser visualizada na Figura 11 que é um exemplo de um dos sensores. O circuito completo pode ser visto no APÊNDICE A.

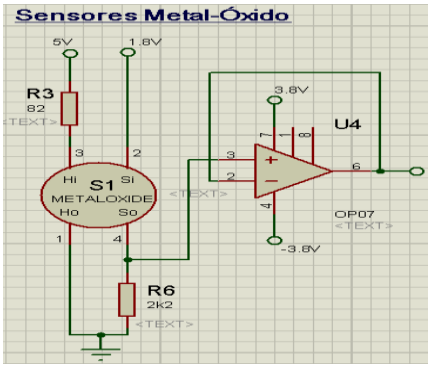


Figura 11 - Circuito Final para Sensores de Metal-Óxido.

2.1.2.Sensor Eletroquímico

Os sensores eletroquímicos requerem um circuito especial para seu funcionamento. Tal circuito é chamado Potenciostato. Um circuito potenciostato consiste em três partes: O circuito de controle, o de medida de corrente e o curto circuito FET.

O circuito de controle (U7) é responsável por monitorar a e manter constante o potencial entre o *reference electrode* e o *sensing electrode*. Quando uma corrente circula entre o *sensing electrode* e o *counter electrode* há uma tendência do *sensing electrode* alterar seu potencial. Quando isso ocorre o circuito de controle cessa ou fornece corrente no *counter electrode* para manter o potencial constante.

O circuito de medida de corrente (U8) é um circuito amplificado de transimpedância, que é responsável por transformar a corrente que flui entre os eletrodos em tensão.

E por fim, o curto circuito FET é responsável por manter o potencial constante entre o *sensing electrode* e o *counter electrode* quando o circuito é desligado. Dessa maneira o potencial é mantido e ao religar o circuito não há demora em estabilizar o sensor. O Potenciostado é fornecido pelo fabricante e é demonstrado na Figura 12 (Acosta, 2008).

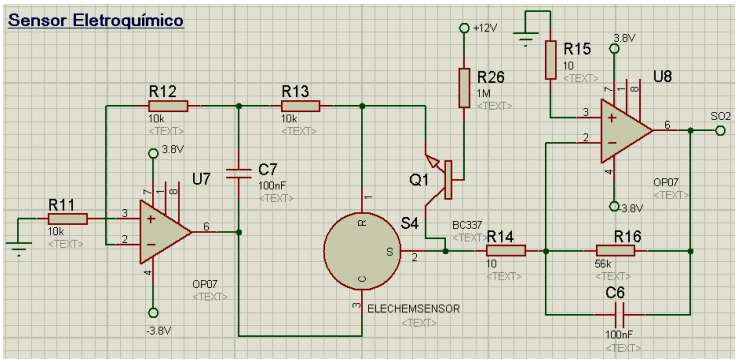


Figura 12 - Circuito Potenciostato.

O sensor utilizado para o desenvolvimento do projeto foi o EC4-2000-SO2 da SGX Sensortech. Suas características podem ser visualizadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do Sensor EC4-2000-SO2

Características EC4-2000-SO2	
Range	0 - 2000 ppm
Sensibilidade	8 - 20 nA/ppm
Resolução	5 ppm SO2

A tensão de saída é controlada pela resistência de ganho R16 da Figura 12. A tensão de saída segue a equação 5. (DEVICES A. , 2012)

$$V_{out} = I_{se} * R_{ganho} \quad (5)$$

A sensibilidade do sensor é 14 nA/ppm e o máximo de concentração que o sensor pode registrar é 2000 ppm. Assim, a corrente máxima gerada pelo sensor será como em (6).

$$I_{se_{max}} = 14.10^{-9} * 2000 = 28\mu A \quad (6)$$

Considerando que o nível máximo de tensão aceitável pela entrada analógica do BBB é 1,8V, tem-se (7).

$$R_{ganho} = \frac{1.8}{28.10^{-6}} = 64K\Omega \quad (7)$$

Dessa forma, foi estabelecido que a saída do circuito nunca ultrapasse o nível máximo de tensão.

2.1.3.Sensor de Poeira

Os Padrões de Qualidade do Ar relacionados a Materiais Particulados (partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e fumaça) foram representados neste trabalho por um sensor de poeira. O sensor de poeira escolhido foi o GP2Y1010AU0F da Sharp. O GP2Y1010AU0F, além da tensão de alimentação, exige que um determinado sinal seja aplicado no terminal que corresponde ao LED. Tal forma de onda está disponível na Figura 13 (CORPORATION S. , 2006).

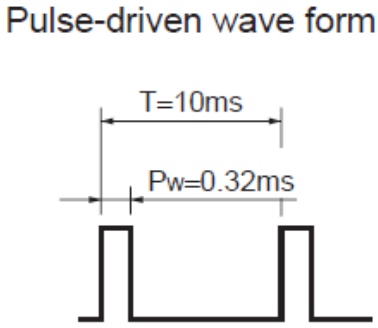


Figura 13 - Forma de Onda Para Acionar o LED do Sensor.

Esse sinal exige alta precisão e só foi possível implementá-lo utilizando o PWM disponível no BBB. A amplitude dessa forma de onda deve ser de 5V porém, a saída do PWM fornece uma amplitude de 3.3V. Para resolver tal empecilho, foi desenvolvido um circuito para transformar a amplitude do sinal em 5V.
A Figura 14 apresenta o esquema do circuito (BRAGA, s.d).
Um circuito seguidor de tensão foi acoplado ao resistor de base do transistor devido à baixa corrente fornecida pelo BBB (8mA).

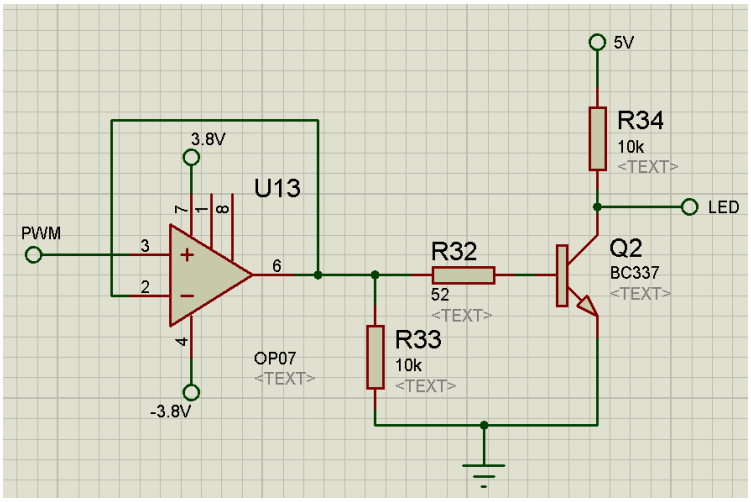


Figura 14 - Circuito com transistor operando como chave.

Entretanto, foi observado que o sensor GP2Y1010AU0F, dependendo da concentração de poeira e/ou fumaça pode atingir níveis de tensão de até 3,8V em seu terminal de saída, fazendo-se necessário o condicionamento do sinal.
O problema foi resolvido utilizando um amplificador operacional configurado como um subtrator como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**(d), em que a entrada não-inversora foi levada ao terra. Obtendo a equação de amplificação (8).

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

Por fim, a Figura 15 mostra o circuito condicionador de sinal para o sensor de poeira.

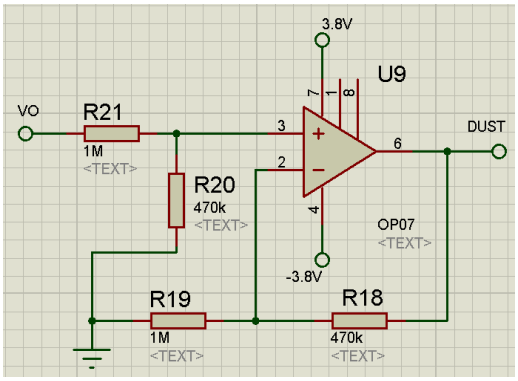


Figura 15 - Circuito condicionador de sinal para o sensor de poeira.

2.1.4. Sensores de Temperatura e Umidade

Os sensores de temperatura e umidade escolhidos para o projeto foram o LM35 para temperatura e o HIH-4030 para umidade.

O LM35 é um CI de baixa complexidade de operação, pois possui apenas três terminais, sendo que dois deles para alimentação. O terceiro é a tensão de saída, tensão a qual é proporcional a temperatura. O LM35 apresenta uma sensibilidade de 10 mV/C°, podendo medir temperaturas de até 150C°, ou seja, a tensão máxima de saída seria 1,5V, não fazendo necessário um circuito condicionador de sinal (SEMICONDUCTOR, 2000).

O sensor de umidade possui o mesmo sistema de funcionamento, porém, sua tensão de saída pode alcançar valores maiores que 1,8V tornando necessário um circuito condicionador. Para tal, foi utilizado o mesmo circuito do sensor de poeira previsto na Figura 15.

2.2. Aquisição de Dados

Assim que os circuitos dos sensores e seus respectivos circuitos para condicionamento de sinal foram obtidos, o próximo passo foi conectá-los às entradas analógicas do BBB. Dessa forma, através de *softwares* específicos, juntamente com bibliotecas dedicadas, foi possível a manipulação e aquisição dos dados provenientes dos sensores.

2.2.1. Software para Aquisição de Dados

A principal forma de aquisição de dados deste sistema de monitoramento é realizando a leitura das entradas analógicas. A biblioteca Adafruit_BBIO fornece para isso a função `ADC.read("Pin")`. Essa função retorna um valor, em uma escala de 0 – 1, proporcional à tensão de entrada. Assim, para transformar na escala de 0 – 1.8V, é necessário multiplicar o valor de retorno da função por 1.8V (Richardson, 2013). Dessa forma, a equação (9) para a aquisição de dados do canal A/D.

$$V = ADC.read(\text{Pin}) * 1.8 \quad (9)$$

Onde, Pin é o pino da entrada analógica em questão.

Cada sensor possui um comportamento relacionado à grandeza a qual eles são destinados a medir. Esse comportamento é modelado em forma de equações. Assim, essas equações podem ser transcritas para o software de aquisição de dados podendo, podendo então, relacionar o nível de tensão lido na entrada com a grandeza medida pelo sensor.

Os sensores de Metal-Óxido apresentam um comportamento que relaciona a divisão da resistência do sensor R_S por uma constante (R_0), com a concentração do gás medido. Como exemplo, toma-se o caso do sensor de CO. O novo gráfico pode ser observado na Figura 16.

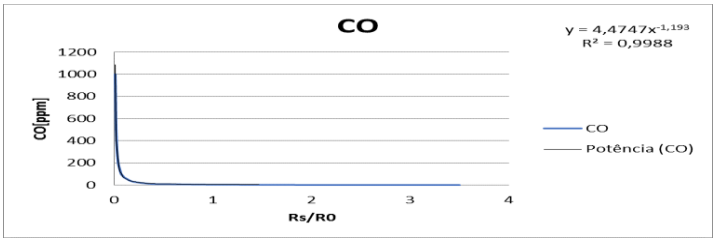


Figura 16 - Gráfico do comportamento d Sensor de CO.

O Excel disponibiliza uma ferramenta que obtém equações a partir de determinadas curvas. Essa ferramenta foi utilizada para definir uma equação que caracterize o comportamento do sensor. A equação 10 obtida para o sensor de CO é apresentada.

$$y = 4.4747 * x^{-1,193} \quad (10)$$

Onde, x é a relação entre R_S e R_0 e y é concentração de CO na atmosfera em ppm.
O valor adquirido através da entrada analógica é a queda de tensão no resistor de carga R_L conectado ao resistor do sensor. A equação para encontrar R_S, para o caso do sensor de CO, foi definida como em (11).

$$R_S = \frac{2200 * V_L}{1.8 - V_L} \quad (11)$$

R_0 consiste em uma constante de calibração do sensor e seu valor é fornecido pelo *datasheet*. O valor típico de R_0 para o sensor de CO é de 450kΩ (SENSORTECH, 2009). Dessa maneira, o código de aquisição de dados para o sensor de CO foi definido assim:

```
vl=ADC.read("P9_38")
rs=(2200*vl)/(1.8-vl)
x=rs/450000
y=4.4747*(x**-1,193)
```

O raciocínio foi similar para o restante dos sensores de Metal-Óxido, diferenciando apenas em constantes e nas curvas de comportamento. As curvas e o código completo podem ser visualizados nos APÊNDICE B e APÊNDICE C, respectivamente.
Apesar de exigir um circuito de funcionamento mais complexo, o sensor de SO_2 mostrou-se mais simples para a aquisição de dados.
O sensor gera corrente entre determinados eletrodos proporcional à concentração de SO_2 e o circuito de transimpedância apresenta em sua saída uma tensão proporcional à corrente gerada. Conforme discutido na seção 2.3.2 a sensibilidade do sensor foi determinada como 14nA/ppm e a resistência de ganho foi calculada e possui o valor de 64kΩ (DEVICES A. , 2012).
O código de litura e interpretação do sensor de SO_2, é apresentado a seguir:

```
vl=ADC.read("P9_33")*1.8
i=vl/64000
y=i/0.000000014
```

Em que y, é a concentração de SO_2 na atmosfera.
Para realizar a leitura da entrada analógica referente ao sensor de poeira primeiramente é necessário gerar a forma de onda demonstrada na Figura 13, onde o período do sinal é 10ms e o *duty cicle* de 0.32ms (CORPORATION S. , 2006). As funções disponibilizadas pela biblioteca Adafruit_BBIO se mostraram lentas para gerar o sinal exigido. A alternativa encontrada para gerar os pulsos foi gerar através do PWM do BBB.
A biblioteca utilizada para o controle do BBB possui uma função para configurar e habilitar o canal PWM solicitado. Nesta função é possível escolher o canal de saída, o tempo em que o sinal ficará em nível alto, a frequência do sinal e a polaridade, conforme se pode verificar a seguir (Cooper, 2014):

```
PWM.start(channel, duty, freq=2000, polarity=0)
```

Quando acionado, o PWM será interrompido quando a função stop for solicitada.

```
PWM.stop("channel")
```

O sensor de poeira funciona de modo a apresenta tensão de saída somente durante o período em que o sinal do PWM está em alto. A tensão de saída atinge o seu valor nominal somente 0.28ms após a borda de subida do sinal PWM, como mostra a Figura 17.

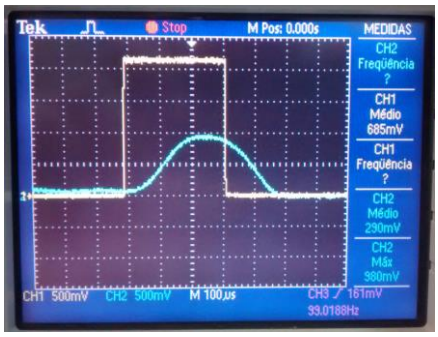


Figura 17 - Tensão de saída do sensor de poeira em relação ao PWM.

As funções de *delay* fornecidas pela biblioteca não se mostraram precisas para a leitura do canal A/D no momento solicitado (0.28ms). No entanto, foi adotado o método de executar uma batelada de medidas e sempre guardar o maior valor. O método foi testado e comprovado.
O *datasheet* fornece a curva de comportamento do sensor de poeira. A curva foi plotada no Excel, e a equação que descreve o comportamento do sensor em relação à poeira foi levantada utilizando as mesmas ferramentas anteriores. A equação é apresentada a seguir:

$$y = -74.074 * x^6 + 257.91 * x^5 - 307.51 * x^4 + 149.17 * x^3 - 28,403 * x^2 + 7.2113 * x + 0.6489$$

Onde y, é a concentração de poeira e x a tensão de saída dividida pelo ganho (0,47) do circuito condicionador de sinal. Com todas essas informações, o código de aquisição de dados é apresentado a seguir:

```
PWM.start("P9_14", 3.2, 100, 1)
i=0
vl=0
      while i<100:
            v=ADC.read("P9_37")*1.8
            i=i+1
            if v>vl:
                  vl=v
PWM.stop("P9_14")
x=vl/0.47
y=-74.074*(x**6)+257.91*(x**5)-307.51*(x**4)+149.17*(x**3)-
28.403*(x**2)+7.2113*x+0.6489
```

Para os sensores de temperatura e umidade, os mesmos raciocínios foram seguidos para a aquisição de seus sinais. Os códigos de cada um destes sensores podem ser observados no APÊNDICE C. As curvas não apresentadas nesta seção estão disponíveis no APÊNDICE B.

2.2.2.Instalação do MySQL e Criação do Banco de Dados

O banco de dados exerce uma função muito importante em um sistema de monitoramento, pois, com dados armazenados, é possível analisar os fenômenos ou grandezas que estão sendo medidos. O banco de dados possibilita gerar relatórios, fornecer média, o histórico de medidas e etc.

2.2.3.Gravação no Banco de Dados

A função desenvolvida para alimentar o banco de dados recebe como argumentos os a identificação do sensor, o valor da medida e data e hora da aquisição. A função de gravação é descrita a seguir:

```
def writedata(id,medida,data,hora):
```

```
        cnx = mysql.connector.connect(user='root',
                                      password='',
                                      host='127.0.0.1',
                                      database='monitoramento')
cursor = cnx.cursor()
add_values = ("INSERT INTO medidas "
                    "(id_sensor, medida, data, hora) "
                    "VALUES (%s, %s, %s, %s)")
cursor.execute(add_values,(id, medida, data, hora))
cnx.commit()
cursor.close()
cnx.close()
```

A função de gravação de valores no banco de dados, primeiramente estabelece comunicação com o bando de dados "monitoramento", em seguida aponta para a tabela "medidas" e cria uma máscara para inserir os dados, insere os dados na tabela, e por fim, encerra a conexão com o banco de dados. Essa função foi chamada sempre logo após da aquisição de algum sensor, pois, cada registro corresponde a um determinado sensor.
A função completa de aquisição de dados pode ser visualizada no APÊNDICE C.

2.3. Sistema de Monitoramento Gráfico

O sistema de monitoramento gráfico foi definido como sendo uma página web que apresenta valores atuais, médios e gráficos de períodos para cada um dos sensores, sendo que os gráficos podem ser escolhidos pelo usuário. O sistema foi basicamente construído de três etapas, a parte visual da página, a parte dinâmica e a disponibilização em um servidor.
O sistema visual iniciou-se com o desenvolvimento da parte gráfica da pagina web. O *software* utilizado para o *web design* foi o *Dreamweaver* da Adobe. A estrutura visual da página foi toda construída em HTML com o auxílio de componentes CSS. A Figura 18 mostra o layout da página.

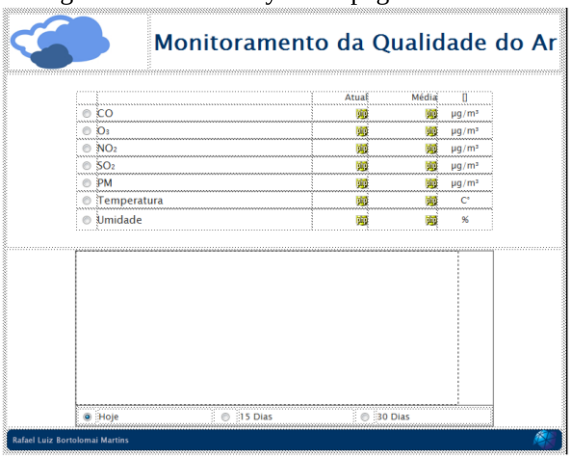


Figura 18 - Layout da página web.

O layout da pagina web foi organizado utilizando o método das tabelas, onde uma tabela é inserida dentro da outra, até alcançar a estrutura desejada. Assim que todos os espaços foram definidos e organizados, textos, figuras e radio buttons foram inseridos. Os *radio buttons* são responsáveis pela comutação dos gráficos através da seleção dos gases e dos períodos. Por fim, foram utilizados componentes CSS para a formatação de fontes e cores. Os códigos que retornam os valores atuais e médios para cada gás foram adicionados no código HTML como mostra a Figura 19.

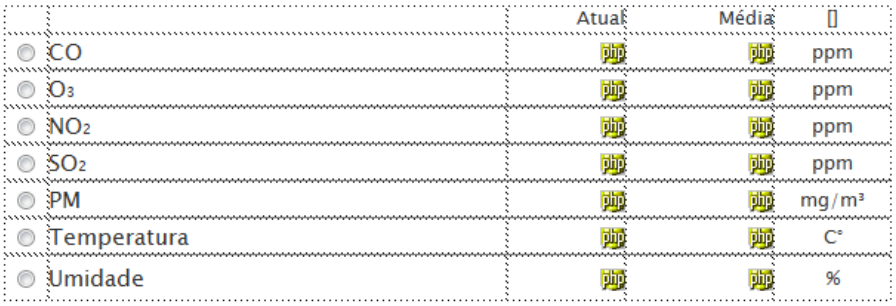


Figura 19 - Códigos PHP inseridos no código HTML.

A apresentação de gráficos ficou por conta de um componente JavaScript chamado jqPlot. O gráfico em jqPlot solicita um vetor contendo os valores de x e y para gerar o gráfico. Desse modo, duas funções foram projetadas para construir esse vetor e atender as variadas combinações entre os *radio buttons*.
O código desenvolvido para atender os gráficos que apresentam a evolução dos valores durante o dia atual foi desenvolvido baseado em uma função de busca onde, o gás desejado é passado como parâmetro. A função preenche um vetor com as médias dos valores do gás a cada minuto e seus respectivos horários. A função é demonstrada logo abaixo:

```
$sql = "SELECT avg(`medida`),`hora` FROM `medidas` WHERE `data` =
'".$dia."' and `id_sensor`=".$gas." group by HOUR(hora);";
```

Por fim, foi implementada uma função que retorna um vetor com a média diária dos valores de concentração de um gás passado como parâmetro e as respectivas datas. O segundo parâmetro da busca é a quantidade de dias (no caso, 15 ou 30 dias) que definirá o período da busca. A função tem como núcleo a busca a seguir

```
$sql = "SELECT AVG(`medida`),`data` FROM `medidas` WHERE
data>='".$data2."' and data<='".$data."' and id_sensor=".$gas." group
by data";
```

Durante o desenvolvimento da estrutura de layout da pagina web, foi previso um espaço para exibição dos gráficos conforme solicitação do usuário. O espaço é mostrado na Figura 20.

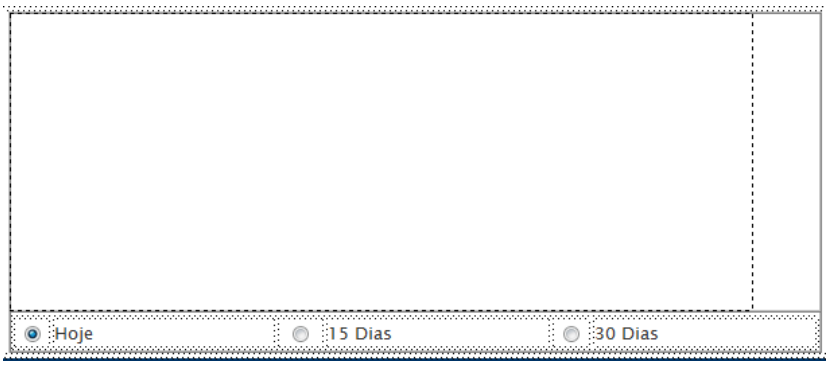


Figura 20 - Espaço reservado para exibição do gráfico.

Toda a página web, bem como as funções PHP foram desenvolvidas e testadas em ambiente Windows, sendo o Dreamweaver utilizado para a programação e o Wamp server para o teste das funções e da página web.
Para obter o mesmo efeito no BBB, foram instalados os pacotes dos softwares do PHP e do servidor web LIGHTTPD. A instalação foi realizada através do terminal de linha de comando do BBB utilizando os seguintes códigos:

```
root@beaglebone:~# opkg install lighttpd lighttp-module-fastcgi
root@beaglebone:~# opkg install php php-cgi php-cli
```

Além do comando de instalação, uma série de configurações e ajustes foi necessária para que o servidor lighttpd e o PHP fossem estabelecidos. Essas configurações estão disponíveis em (Element14, 2013).

O lighttpd cria uma pasta durante sua instalação que qualquer dispositivo, que possuir um navegador instalado e estiver conectado à mesma rede, poderá acessá-la. O caminho da pasta é mostrado a seguir:

```
/www/pages
```

Quando o IP adress do BBB é digitado no navegador, o dispositivo consegue acesso ao conteúdo desta pasta. Por *defaut* o lighttpd disponibiliza um arquivo de teste (index.html) e caso o servidor esteja funcionando corretamente, a página web mostrada na Figura 21 dever aparecer.

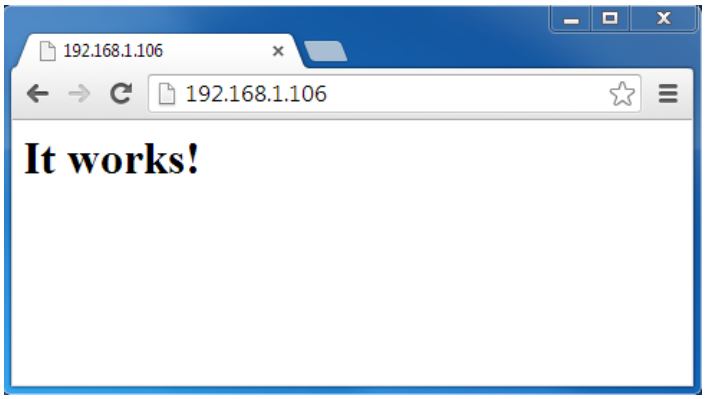


Figura 21 - Teste do servidor.

Para testar o PHP o procedimento foi o mesmo, porém, um arquivo .php foi salvo na pasta /www/pages.
Para que o sistema de monitoramento funcionasse foi necessário mover todo o conteúdo relacionado a pagina web para a pasta /www/pages. A partir desse momento, todos os dispositivos conectados à rede local puderam acessar a página de monitoramento.
O sistema web implementado funciona conforme o diagrama da XXX.

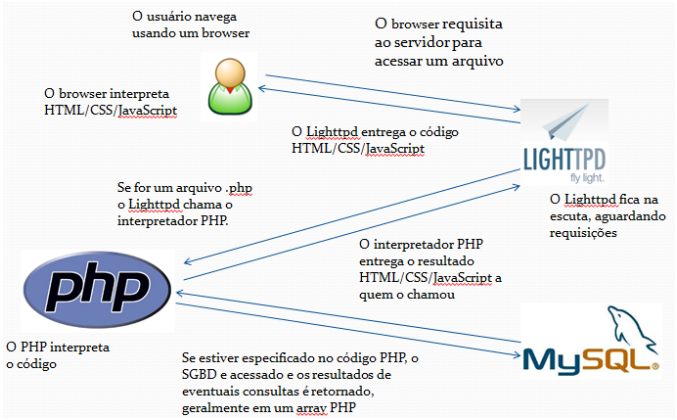


Figura 22 - Diagrama de funcionamento de um sistema web.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Esse capítulo tem como objetivo mostrar o funcionamento do sistema de monitoramento da qualidade do ar de forma geral, e apresentar alguns testes realizados para a validação dos dados medidos dos sensores.

3.1. Funcionamento

Antes de tudo, é necessário conectar a fonte de alimentação no BBB, esperar ele inicializar, depois conectar a fonte no circuito dos sensores e efetuar as ligações necessárias para a leitura dos sensores. Ligada a fonte de alimentação do circuito dos sensores o LED de status on/off acenderá, indicando que a placa foi energizada. A Figura 23 mostra a placa dos sensores energizada e a localização de onde os sensores devem ser posicionados.

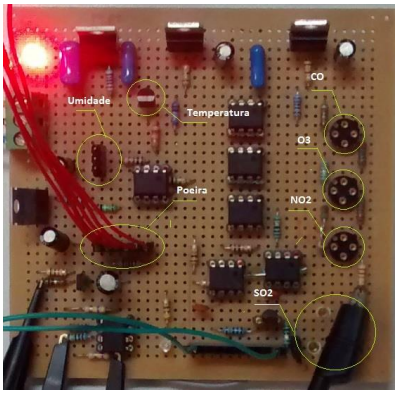


Figura 23 - Placa dos sensores energizada e posicionamento dos sensores.

o sistema estará apto para realizar o monitoramento da qualidade do ar. Qualquer dispositivo que estiver conectado na mesma rede do BBB poderá acessar a página de monitoramento através de um navegador. A Figura 24 - Página web de monitoramento com gráfico. ilustra a página web de monitoramento.

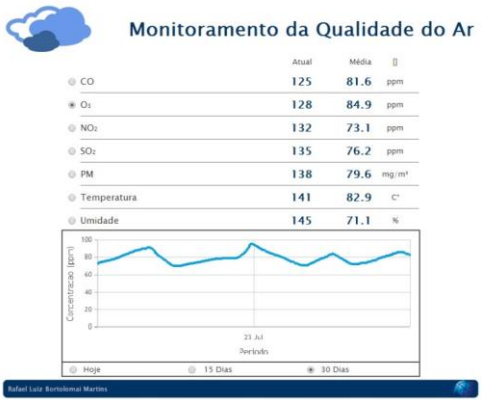


Figura 24 - Página web de monitoramento com gráfico.

3.2. Testes de Validação

A placa de sensores foi submetida a testes de comparação para validar os dados oriundos do sistema de aquisição. Os sensores foram comparados com equipamentos que estavam à disposição no momento.

No caso dos sensores de Metal-Óxido, o equipamento utilizado foi o MICS-EK1 da SGX Sensortech. Para o sensor de CO, o comportamento da resistência pode ser visualizado pela Figura 25.



Figura 25 - Teste sensor de CO.

O sensor leva aproximadamente 850 segundos para estabilizar. No momento de estabilidade do sensor a resistência R_S marcava 113,3kΩ. O mesmo sensor colocado na placa de sensores do projeto, após estabilizar, marcou uma resistência de 144,5kΩ apresentando uma diferença de 31,2kΩ. Considerando a concentração em

ppm gerada a partir dessas resistências, o MICS-EK1 apresentaria uma concentração de 23,2 ppm, enquanto a de sensores mostrou 17,35 ppm, sendo assim uma diferença de aproximadamente 6 ppm.

Já o sensor de O_3, o comportamento da resistência pode ser visualizado pela Figura 26.

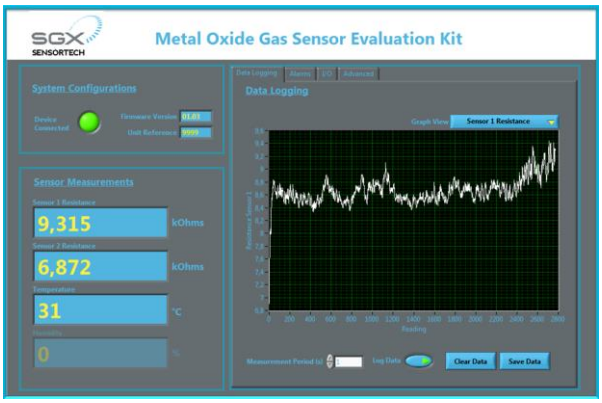


Figura 26 - Teste sensor de O3.

Este sensor leva aproximadamente 200 segundos para estabilizar. No momento em que o sensor apresentou certa estabilidade, a resistência R_S marcava 9,315kΩ. O mesmo sensor colocado na placa de sensores do projeto, após estabilizar, marcou uma resistência de 8,465kΩ apresentando uma diferença de 850Ω. Em termos de concentração em ppm, o MICS-EK1 apresentaria uma concentração de 82,92 ppm, enquanto a de sensores mostrou 75,61ppm, sendo assim uma diferença de 7,3 ppm.

Por fim, o comportamento da resistência Rs do sensor de NO_2 pode ser visualizado pela Figura 27.

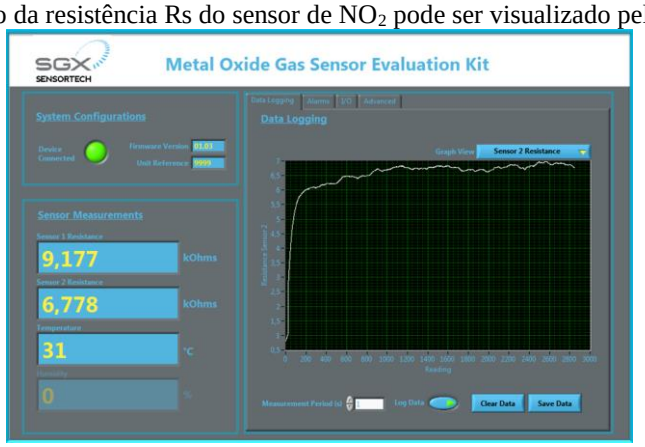


Figura 27 - Teste do sensor de NO2.

O último sensor de Metal-Óxido leva aproximadamente 1200 segundos para estabilizar, sendo este, o maior tempo de acomodação dentre todos. Quando estável, resistência R_S marcou 6,778kΩ. O mesmo sensor conectado na placa de sensores do projeto forneceu uma resistência de 7,734kΩ apresentando uma diferença de 31,2kΩ. Considerando a concentração em ppm gerada a partir da resistência Rs, o MICS-EK1 apresentaria uma concentração de 0,36 ppm, enquanto a da placa de sensores mostrou 0,411 ppm, sendo assim uma diferença de aproximadamente 0,051 ppm.

O sensor de SO_2 foi testado no kit e na placa de sensores, porém, apresentou comportamento oscilatório e indeterminado, mostrando em seu display valores de corrente e concentração de SO2 inconsistentes. Os possíveis principais motivos para tal comportamento, seriam o fato de o sensor ser dimensionado para grandes concentrações de SO_2 (2000 ppm) e o fato de possui uma sensibilidade altíssima para ser utilizado em situações de baixa concentração. O sensor de poeira não contava com equipamentos para teste de referência e validação, no entanto, foi verificada a consistência do valor sinal obtido através da leitura da porta analógica. O sinal foi coletado via osciloscópio e pode ser observado na Figura 28.

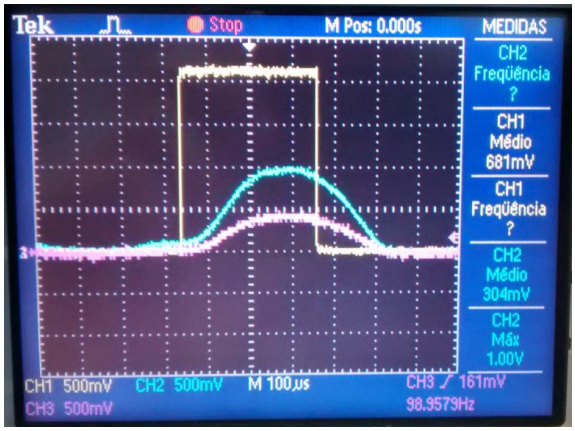


Figura 28 - Sinal gerado pelo sensor de poeira.

O valor do sinal obtido pela leitura da porta analógica foi confrontado com o valor indicado no osciloscópio através da função cursor. Na ocasião, o valor do sinal registrado pelo cursor foi de 580mV e o Sinal sem o condicionamento foi de 1,3V. O sinal registrado na porta analógica variava próximo a 568mV, sendo assim como esperado.

Concluindo, os sensores de temperatura e umidade foram comparados com os valores do aplicativo *S Health* do celular Galaxy Note 3. As medidas dos sensores apresentaram ligeiras diferenças em relação ao aplicativo. Tais diferenças podem ser subtraídas facilmente via *software*.

4. CONCLUSÃO

Por meio da metodologia aplicada e dos resultados obtidos foi possível projetar e desenvolver um sistema robusto de monitoramento da qualidade do ar. A escolha do BeagleBone Black(BBB) para o projeto fui crucial para atender o objetivo do projeto de baixo custo, pois, nele acumularam-se funções como, placa de aquisição, servidor, processador, entre outros. Essas funções se fossem implementadas separadamente, elevariam o custo do projeto. Outro ponto positivo do BBB é que todos os softwares utilizados e sem exceção foram *open source*, evitando gastos com licenças e royalties. Sensores de maior precisão devem ser adquiridos, para melhor qualidade do sinal visando projetos futuros.

5. BIBLIOGRAFIA

AB, M. (14 de Março de 2010). Manual de Referência do MySQL 4.1.

ACOSTA, M. (24 de Junho de 2008). Designing with Electro-Chemical Sensors. NATIONAL SEMICONDUCTOR.

BARRETO, M. V. (Abril de 2000). Curso de Linguagem PHP. Rio de Janeiro: CIPSGA.

BRAGA, N. C. (s.d). *Transistor como chave*. Acesso em 22 de Maio de 2014, disponível em http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/circuitos/133-controles-de-potencia-e-drivers/4422-ne273.html

CANTÚ, E. (Setembro de 2003). Redes de Computadores e Internet. São José, Santa Catarina: CEFET.

CARMO, A. T., & PRADO, R. T. (1999). Qualidade do Ar Interno. São Paulo.

CARVALHO, V. D. (2008). Estação Móvel para Madida da Qualidade do Ar. Lisboa, Portugal.

CAVALCANTE, P. M. (Novembro de 2010). Modelo de Gestão da Qualidade do Ar - Abordagem Preventiva e Corretiva. Rio de Janeiro, RJ, Braisl.

COLEY, G. (2 de Janeiro de 2013). Beagle Black System Reference Manual. Dallas, Texas, Estados Unidos da América: beagleboard.org.

CONAMA. (06 de Maio de 1986). Acesso em 18 de Janeiro de 2014, disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_018.pdf

CONAMA. (15 de Junho de 1989). Acesso em 20 de Janeiro de 2014, disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1989_005.pdf

CONAMA. (28 de Junho de 1990). Acesso em 22 de Janeiro de 2014, disponível em http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100

COOPER, J. (17 de Janeiro de 2014). BeagleBone Black: Installing Operating System. Adafruit Learning System.
COOPER, J. (28 de Abril de 2014). Setting up IO Python Library on BeagleBone Black. adafruit learning system.
CORPORATION, F. S. (Agosto de 2013). Datasheet LM7805.
CORPORATION, S. (1 de Dezembro de 2006). Datasheet Compact Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F.
DEVICES, A. (2002). Datasheet Ultralow Offset Voltage Operacional Amplifiers OP07. Norwood, Massachusetts, Estados Unidos da América.
DEVICES, A. (2012). Single Supply, Micropower Toxic Gas Detector Using an Electrochemical Sensor. Norwood: Circuits from Lab.
DUARTE, É. M. (02 de Agosto de 2006). Curso de Introdução a Banco de Dados. Minas Gerais.
ELEMENT14. (22 de Novembro de 2013). *BeagleBone Web Server - MySQL Installation*. Acesso em 23 de 05 de 2014, disponível em Elemente 14 Community: http://www.element14.com/community/community/designcenter/single-board-computers/next-gen_beaglebone//blog/2013/11/23/beaglebone-web-server--mysql-installation
FRANÇA, J. A. (Junho de 1997). Sistemas de Aquisição de Dados em Microcontrolador. Campina Grande, Paraíba, Brasil.
GALLOIS, F. (2008). Curso Básico de HTML. Creative Commons.
INDUSTRIES, O. S. (Abril de 2012). Datasheet Three-Terminal Ajustable Negative Voltage Regulator LM337. Denver, Colorado, Estados Unidos da América.
INSTRUMENTS, T. (Maio de 2013). Isolation Techniques for Signal Conditioning. *Application Report*. Dallas, Texas, Estados Unidos da América.
KESTER, W. (1999). Pratical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning. Norwood, Estados Unidos da América: Prentice Hall.
LEE, M. J. (Novembro de 2011). Signal Conditioning Circuit Design. East Lansing, Michigan, Estados Unidos da América.
LIGHTTPD. (s.d). *LIGHTTPD*. Fonte: http://www.lighttpd.net/
LIVI, M. A., & SILVEIRA, J. C. (Março de 2006). Introdução à Informática. Porto Alegra, Rio Grande do Sul.
MEIRELLES, M. (27 de Maio de 2006). Linguagem e Tecnologia: Ressignificando Símbolos a Nós Desconhecidos. Porto Alegre, Brasil: UFRGS.
MySQL. (1 de Novembro de 2013). Acesso em 23 de Maio de 2014, disponível em http://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/connector-python-installation-source-unix.html
MySQL. (2014). Acesso em 19 de Abril de 2014, disponível em http://www.mysql.com/why-mysql/white-papers/10-principais-motivos-para-usar-o-mysql-como-um-banco-de-dados-incorporado/
PEREIRA, R. B. (13 de Dezembro de 2013). Implentação por Sistemas Embarcados de Protótipo Parametrizável para Coleta de Dados Microclimáticos Georeferenciados. *Tese de Doutorado*, p. 137.
PIRES, D. F. (2007). Introdução a Linguagem HTML. Universidade interativa COC.
RICHARDSON, M. (Outubro de 2013). Getting Started with BeagleBone. Sebastopol, California, Estados Unidos da América: Maker Media.
SEMICONDUCTOR, N. (Maio de 1996). Datasheet LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Ajustable Regulator. Arlington, Texas, Estados Unidoa.
SEMICONDUCTOR, N. (Novembro de 2000). Datasheet Precision Centigrade Temperature Sensors LM35.
SENNEQUIER, P. (Novembro de 2013). Signal Conditioning fo Electrochemical Sensors. *Application Note*. Geneva, Suiça.
SENSORTECH, S. (Agosto de 2007). Frequently Asked Questions fod MiCS Gas Sensors. *MiCS Application Note 2* . Chelmsford, Inglaterra.
SENSORTECH, S. (Julho de 2008a). Datasheet MiCS-2610. Chelmsford, Reino Unido.
SENSORTECH, S. (Julho de 2008b). Datasheet MiCS-2710. Chelmsford, Reino Unido.
SENSORTECH, S. (Julho de 2009). Datasheet MiCS-5525. Chelmsford, Reino Unido.
SERRANO, L. M. (Novembro de 2004). Sitemas de Aquisição, Processamento e Armazenamento de Dados. Leira, Portugal: Instituto Politecnico de Leira.
SILVA, H. A. (2014). Acesso em 20 de Maio de 2014, disponível em http://www.dca.ufrn.br/~humberto/Supervisao%20de%20Sistemas/Aula01(Introdu%E7%E3o).pdf
TAKAI, O. K., ITALIANO, I. C., & FERREIRA, J. E. (Fervereiro de 2005). Introdução a Banco de Dados. IME-USP.