

Eixo Temático ET-08-002 – Poluição Ambiental

## **DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR PROVINIENTE DA EMISSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) PELOS VEÍCULOS AUTOMOTORES**

André Luiz da Rocha Lima<sup>1</sup>, Valéria Loureiro da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculdade SENAI CIMATEC, E-mail: andre.lima@al.senai.br; <sup>2</sup>Faculdade SENAI CIMATEC, E-mail: valeria.dasilva@fiab.org.br.

### **RESUMO**

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para monitoramento da emissão de gases poluentes, mais precisamente o monóxido de carbono (CO), baseado em técnicas de arquitetura de software e hardware Open Source (Fontes abertas). O dispositivo consiste de um módulo sensor, um microcontrolador (Arduino) e um módulo de comunicação *Bluetooth* para envio das medidas para um *SmartPhone* com um aplicativo para display essas informações. Para verificação do funcionamento do dispositivo foram feitas medições no núcleo de inspeção veicular no Centro de Formação Profissional Gustavo Paiva em Maceió. Os resultados obtidos mostram uma boa correlação entre os valores medidos pelo analisador de gases Discovery G4 e do protótipo do dispositivo testado.

**Palavras-chave:** Monitoramento; Gases poluentes; Microcontrolador; Bluetooth, Monóxido de carbono.

### **DEVICE FOR MONITORING AIR QUALITY PROVIDING THE EMISSION OF CARBON MONOXIDE (CO) BY AUTOMOTIVE VEHICLES.**

### **ABSTRACT**

This work describes the development of a low cost device to monitor the emission of pollutant gases, more precisely the carbon monoxide (CO), based on Open Source software and Open hardware architecture. The device consists of a sensor module, an Arduino microcontroller and a Bluetooth communication module that sends the measured data to a SmartPhone with an app for displaying the information. To verify the operation of the device, measurements were taken at the vehicle inspection station at the Gustavo Paiva Professional Training Center in Maceió. The results show a good correlation between the values measured by the G4 gas analyzer and the tested device prototype.

**Keywords:** Monitoring; Polluting gases; Microcontroller; Bluetooth, Carbon monoxide.

### **INTRODUÇÃO**

A poluição ambiental se tornou um sério problema para o ser humano, onde o ar está cada vez mais poluído e assim causando diversas doenças para a população, na qual a classe mais afetada com essa poluição são as crianças e os idosos. O planeta Terra é envolvido por uma fina camada de gases que permanece em contato com a superfície do nosso planeta através da gravidade. Essa camada é conhecida como atmosfera e é composta por uma mistura de gases tais como nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), argônio

(Ar), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) entre outros, constituindo assim o ar que respiramos (OGA, 2008).

Conforme Baird (2002), fontes poluidoras tais como indústrias, queima de lixo, fornos, caldeiras e veículos automotores e outros, contribuem para o aumento da poluição atmosférica. Dentre essas fontes, o crescimento da frota de veículos automotores contribui de forma acentuada para a poluição do ar, principalmente nas grandes cidades, causando problemas para a saúde e o bem-estar do ser humano. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990) é um órgão federal que estabelece limites máximos permitido para emissões poluentes, limites esses que quando ultrapassados podem afetar negativamente a saúde e o bem-estar da população, além de causar danos à flora e fauna, e aos materiais como obras públicas.

Hoje em dia, nos grandes centros urbanos a poluição do ar é monitorada por redes de estações de medição estáticas, onde estas estações são altamente confiáveis e capazes de medir com precisão uma ampla gama de poluentes atmosféricos, porém o seu preço de aquisição é elevado e os custos com manutenção limitam severamente o número de instalações dessas estações (HASENFRATZ, 2014).

Com o avanço da eletrônica, foram desenvolvidos dispositivos com baixo consumo energético e baixo custo ,como sensores, plataformas de comunicação e microcontroladores que podem se comunicar com os *Smartphone* através de aplicativos. Dessa forma diversos projetos na área de monitoramento da qualidade do ar foram propostos. Por exemplo, Meade (2013) demonstrou o monitoramento da qualidade do ar utilizando uma rede densa de sensores eletroquímicos de baixo custo. Devarakonda (2013), desenvolveu uma rede de sensores para monitoramento da poluição do ar em tempo real, utilizando sensoriamento móvel. Abraham e Li (2014), apresentaram um sistema de rede de sensores sem fio para aplicações de monitoramento de qualidade do ar interior. Andersen (2012), propõe um sistema de sensor que visa monitoramento da qualidade do ar nas cidades.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo para monitoramento da qualidade do ar, oriundo de gases poluentes emitidos por veículos automotores, mais precisamente o monóxido de carbono (CO). O dispositivo é baseado em técnicas de arquitetura de *software* e *hardware Open Source* (Fontes abertas).e mostrará as informações do nível de poluição por monóxido de carbono (CO) em um *SmartPhone* através de um aplicativo. Seu baixo custo permitirá uso pela população em geral e melhoria do meio ambiente através da conscientização da população que terá as informações para tomar melhores decisões do ponto de vista ambiental.

## **OBJETIVO**

Desenvolver um dispositivo para monitoramento da qualidade do ar, proveniente da emissão de monóxido de carbono (CO) pelos veículos automotores, de custo baixo em relação ao existente no mercado, utilizando plataforma microcontrolada (Arduino), plataforma de comunicação via bluetooth e aplicativo para *Smartphone*.

## **METODOLOGIA**

Uma visão geral do protótipo é mostrada na Figura 1 e sua montagem na Figura 2. Basicamente, o funcionamento do sistema é iniciado a partir do momento em que a módulo sensor detecta a emissão de CO vindo através do sistema de exaustão do veículo automotor e envia um sinal elétrico para um microprocessador (Arduino). O sinal processado é então enviado para o módulo de comunicação *bluetooth* que por sua vez envia a informação através de rádio frequência para um *smartphone* onde, disposto

de um aplicativo, o usuário obtém a informação da quantidade em parte por milhão (ppm) da emissão de monóxido de carbono (CO). Já na Figura 3 é mostrado o esquema elétrico do protótipo.

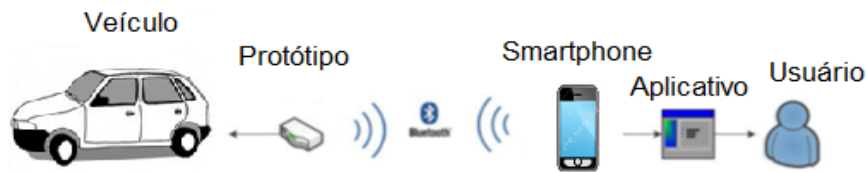


Figura 1 - Visão geral do protótipo. Fonte: Autores

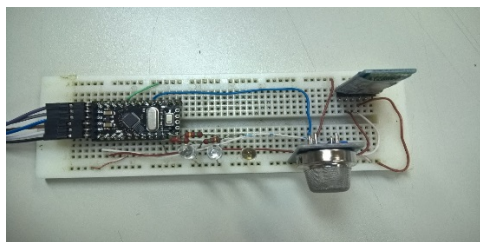


Figura 2- Protótipo montado em pront-o-board. Fonte: Autores.

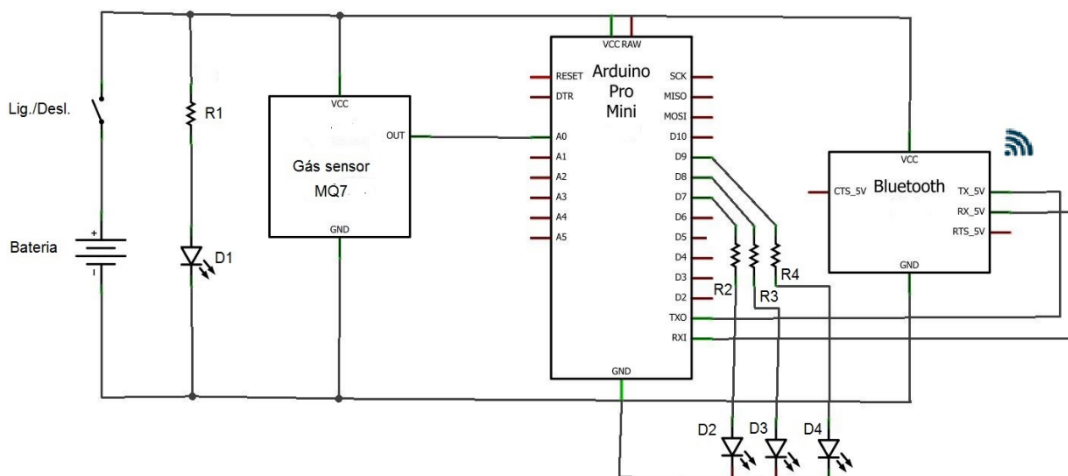


Figura 3- Esquema elétrico. Fonte: Autores.

Para o funcionamento do protótipo foi utilizado uma fonte de alimentação de 220 VAC para 12 VDC, com uma corrente de 800 mA, na saída da fonte foi acoplado um CI regulador de tensão par estabilizar a tensão em 5 VDC, pois o Arduino, o sensor MQ 7 e o módulo *bluetooth* HC 05 trabalham com alimentação de 5 VDC. O protótipo tem um consumo de corrente em torno de 182,7 mA, quando todos os módulos estão em pleno funcionamento. Desses 182,7 mA, 22,7 mA são consumidos pelo Arduino, 116,8 mA pelo sensor e 20,3 mA pelo módulo bluetooth HC 05 em estado de espera e 43,2 mA em comunicação com o *smartphone*.

#### Sensor MQ 7

Nesse protótipo foi utilizado o sensor MQ 7 como mostra a Figura 4, conforme o *datasheet* da empresa Hanwei (2016), o MQ 7 é um sensor eletroquímico composto por

um micro tubo de cerâmica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e uma camada sensível de dióxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ), sensível a vários gases. Esse sensor tem sua condutividade aumentada quando em contato com gases poluentes, como o monóxido de carbono. Ele precisa ser aquecido em baixa temperatura e possui duas saídas: uma analógica e outra digital. Mede concentrações de monóxido de carbono na faixa de 10 a 10.000 ppm, opera entre  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  e  $50\text{ }^\circ\text{C}$  e consome menos de 350 mW a 5 V.



Figura 4 – Módulo sensor MQ 7. Fonte: [www.arduinoocia.com](http://www.arduinoocia.com).

De acordo com o *datasheet* da empresa Hanwei (2016), para o sensor MQ 7 funcionar corretamente deve-se aquecer os componentes sensíveis, assim deve ser conectado 5 V nos pinos do aquecedor do sensor, no caso os pinos H, como mostra a Figura 5, para que o mesmo chegue a temperatura de funcionamento. Ao colocar tensão nos pinos A, faz com que o sensor envie um valor analógico de tensão para os pinos B. Quando colocado uma resistência entre a saída e o GND do sensor, determina-se o quanto é sensível o sensor. Essa resistência, denotada por  $R_L$  é mostrada na Figura 6, que deve ser da ordem de 10 k.

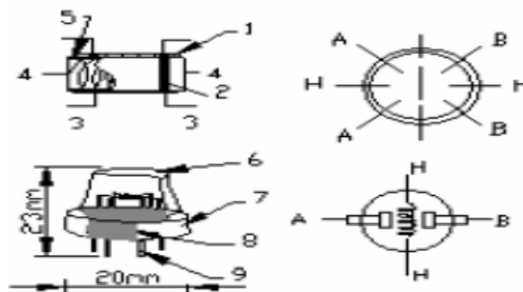


Figura 5: Pinos do sensor CO. Fonte: [www.hwsensor.com](http://www.hwsensor.com).

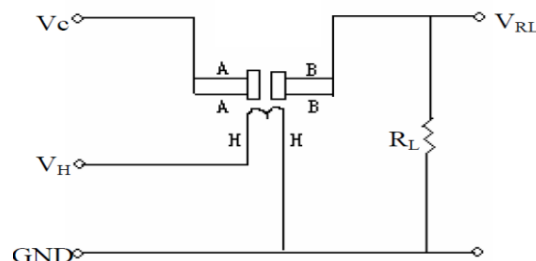


Figura 6 - Esquemático do sensor MQ-7 Fonte: [www.hwsensor.com](http://www.hwsensor.com)

Em conformidade com *datasheet* da empresa Hanwei (2016), as características de sensibilidade do sensor MQ 7 para alguns gases a uma temperatura de  $20\text{ }^\circ\text{C}$  e usando um resistor  $R_L$  de  $10\text{K}\Omega$  é mostrada na Figura 7, onde  $R_0$  é a resistência do sensor em 100 partes por milhão (ppm) de monóxido de carbono e  $R_s$  é a resistência do

sensor. No eixo X temos as concentrações em partes por milhão (ppm) e no eixo Y os valores de  $R_s/R_0$ .

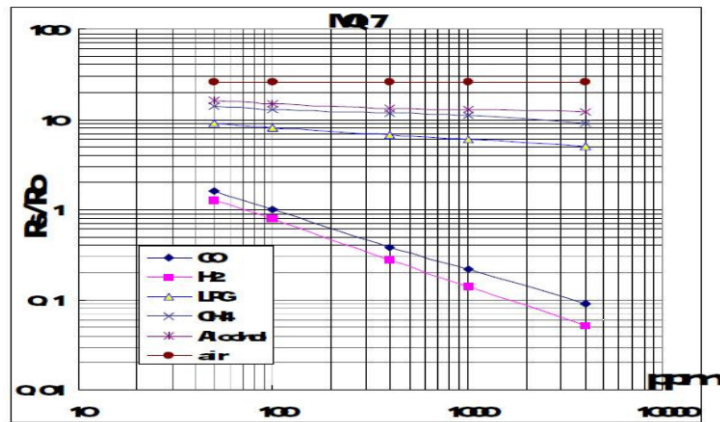


Figura 7 - Característica sensível do sensor MQ 7. Fonte: [www.hwsensor.com](http://www.hwsensor.com).

### Módulo *bluetooth*

O módulo *bluetooth* é utilizado para fazer a comunicação de pequenos dispositivos eletroeletrônicos, como *smartphone*, notebook, scanners, PDAs impressoras, mouse sem fio e até mesmo qualquer dispositivo que utiliza um chip *bluetooth*.

Conforme *datasheet* da empresa Itead (2016), o uso do módulo *bluetooth* tem como objetivo principal transmitir os dados sem a necessidade da conexão física, ou seja, as ligações de cabos, entre os dispositivos eletroeletrônicos, operam na faixa de 2,4 GHz de frequência, de acordo ao seu alcance pode variar entre 10 metros a 100 metros, e sua velocidade de transferência de dados melhorada (EDR) é da ordem de 3 Mbps (Mega bits por segundo). Inserir referência

Na Figura 8, é possível observar o módulo *bluetooth* HC 05, o qual é utilizada neste dispositivo (Protótipo).



Figura 8 – Módulo *bluetooth* HC 05. Fonte: [www.imall.iteadstudio.com](http://www.imall.iteadstudio.com).

Em conformidade com o *datasheet* da empresa Itead (2016), a seguir são listadas algumas características do módulo *bluetooth* HC 05:

- Protocolo Bluetooth: v2.0+EDR;
- Firmware: Linvor 1.8;
- Frequência: 2,4GHz Banda ISM;
- Modulação: GFSK;

- Emissão de energia:  $\leq 4$ dBm, Classe 2;
- Sensibilidade:  $\leq 84$ dBm com 0,1% BER;
- Velocidade Assíncrono: 2,1Mbps (Max)/160Kbps;
- Velocidade Síncrono: 1Mbps/1Mbps;
- Segurança: Autenticação e Encriptação;
- Perfil: Porta Serial Bluetooth;
- Suporta modo Escravo (Slave) e Mestre (Master);
- CSR chip: Bluetooth v2.0;
- Tensão de alimentação: 3,3v- 5v;
- Corrente: Pareado 35mA; conectado 8mA;
- Temperatura:  $-40 \sim +105^{\circ}\text{C}$ ;
- Alcance: 10m;
- Baud Rate: 4800; 9600; 19200; 38400; 57600; 115200; 230400; 460800; 921600; 1382400;
- Dimensões: 26,9 x 13 x 2,2mm;
- Peso: 9,6g.

### Arduino

Consoante com Lemos (2013), o arduino é uma ferramenta de hardware livre, que proporciona a integração entre *hardware* e *software*, projetado em placa única contendo pinos de entrada e saída para a comunicação com os dispositivos externos e utiliza um ambiente de desenvolvimento, onde a linguagem de programação usada é a C/C++.

Na Figura 9, é possível observar a placa Arduino Pro Mini, a qual é utilizada neste dispositivo (Protótipo).

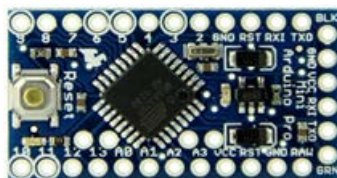


Figura 9 – Arduino Pro Mini. Fonte: [www.seeedstudio.com](http://www.seeedstudio.com)

Em conformidade o *site* Arduino (2016), a seguir são listadas algumas características do Arduino Pro Mini:

- Microcontrolador: ATmega328p;
- Tensão de Operação: 5v;
- Tensão de Entrada: 5-12v;
- Entradas e saídas digitais: 14 (das quais 6 podem ser usadas como saídas PWM);
- Entradas analógicas: 8;
- Corrente DC de operação: 40mA;
- Memória *flash*: 32KB;
- SRAM: 1KB;
- EEPROM: 1KB;
- Velocidade de *clock*: 16MHz;
- Dimensões: 33 x 18 x 6mm.

### Aplicativo

O aplicativo utilizado nesse projeto foi o BT Terminal com versão 1.0.1 *free*, usado num *smartphone* com sistema operacional *Windows phone 8.1*, como mostra a figura 10, já as figuras 11 e 12, mostra na sequência a tela onde aparece a lista de dispositivos (*Devices*) para a conexão e logo após a tela de comunicação, ou seja, resultados.



Figura 10 – Ícone do aplicativo. Fonte: [www.microsoft.com/en-us/store/p/bt-terminal](http://www.microsoft.com/en-us/store/p/bt-terminal).



Figura 11 – Lista de dispositivos. Fonte: Autores



Figura 12 – Tela de comunicação. Fonte: Autores

### Coleta de dados

A coleta dos dados do protótipo deu-se no núcleo de inspeção veicular (NAIV), no Centro de Formação Profissional Gustavo Paiva (CFP-GP) no município de Maceió. Os dados foram comparados com os do analisador de gases Discovery G4 fabricado pela Alfatest, que é usado pelo próprio núcleo de inspeção veicular (NAIV) para avaliar a emissão de gases, inclusive de monóxido de carbono (CO), dos veículos automotores operando em marcha lenta com um tempo de exposição de dois minutos para cada medição, conforme Brasil (2009).

Para coletar os dados é feito uma inserção da sonda do analisador de gases Discovery G4 na parte interna do sistema de exaustão do veículo automotor, ou seja, dentro do escape do veículo automotor. Já com o protótipo desenvolvido, a coleta dos dados é feita na parte externa do sistema de exaustão do veículo automotor, ou seja, na



região externa e próxima à saída do escape do veículo automotor, como mostra Figuras 13 e 14.

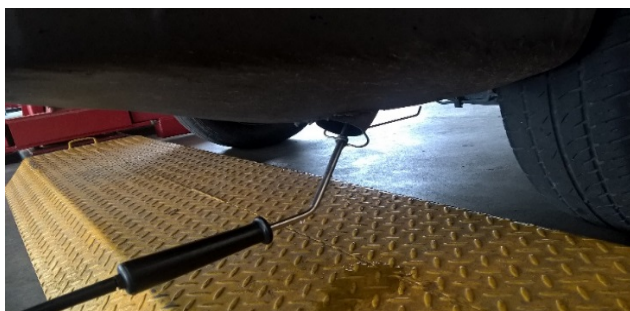


Figura 13 – Sonda do Discovery 4. Fonte: Autores.



Figura 14 – Protótipo. Fonte: Autores

A Tabela 1 mostra uma comparação entre as especificações do módulo sensor MQ 7 testado e do analisador de gases Discovery G4 usado como referência.

Tabela 1 – Faixa de medição do módulo sensor MQ 7 e o Discovery G4.

Gases Medidos	Módulo MQ 7 Faixa de medição	Discovery G4 Faixa de medição
HC	-----	2000 ppm vol.(Hexano) 4000 ppm vol.(Propano)
CO2	-----	20% vol
CO	10 a 10000 ppm	15% vol
O2	-----	25% vol
NO2	-----	5000 ppm vol

Conforme a Brasil (2009), que trata dos limites máximos de emissão de CO por veículos automotores, traz a tabela 2 como referência para esses limites.



Tabela 2 – Limites máximos de emissão de CO, em marcha lenta e a 2500 rpm.

Ano de fabricação	Limites de CO <sub>corrigido</sub> (%)			
	Gasolina	Álcool	Flex	Gás Natural
Todos até 1979;	6,0	6,0	-	6,0
1980 - 1988	5,0	5,0	-	5,0
1989	4,0	4,0	-	4,0
1990 e 1991	3,5	3,5	-	3,5
1992 – 1996	3,0	3,0	-	3,0
1997 - 2002	1,0	1,0	-	1,0
2003 a 2005	0,5	0,5	0,5	1,0
2006 em diante	0,3	0,5	0,3	1,0

A Tabela 3, mostra as características principais e condições de testes para os veículos testados. Note que a escolha dos veículos com fabricação entre 1995 e 2014 permite explorar uma faixa de emissão de CO e < 0,3% a possivelmente > 3,0% se o veículo mais antigo estiver fora máximo do limite regulatório.

Tabela 3 – Dados dos veículos usados para os testes.

Montadora	Modelo	Ano de fabricação	Combustível	Combustível testado
FIAT	UNO	1995	GNV/Gasolina	GNV/Gasolina
GM	SPIN	2014	GNV/Flex	GNV/Gasolina
GM	ASTRA	2008	GNV/Flex	GNV/Álcool
FIAT	SIENA - Tetrafuel	2014	GNV/ Flex	GNV/Álcool
FIAT	STARDA WORKING	2012	GNV/ Flex	GNV/Álcool

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas medições no sistema de exaustão nos veículos automotores nas condições detalhadas na Tabela 2 e os resultados para a concentração de monóxido de carbono (CO) são mostrados nos gráficos da Figura 15.

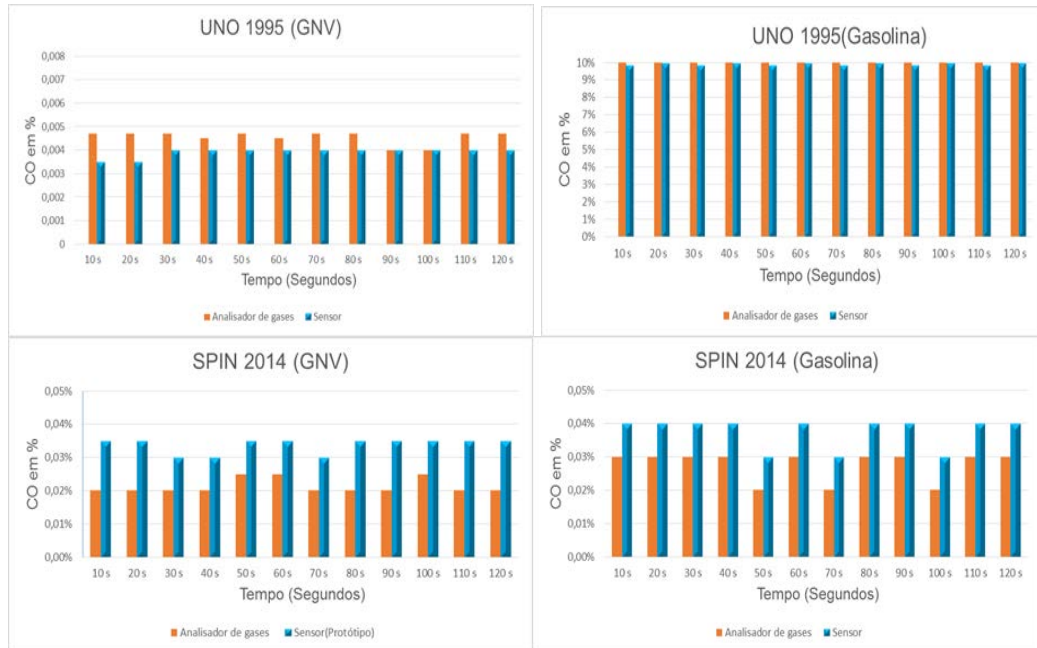


Figura 15 - Gráficos da concentração de CO em % medida para os veículos testados Fonte: Autores

Conforme mostrado nos gráficos da figura 15, existe uma boa correspondência entre os valores medidos pelo protótipo usando o sensor MQ-7 e o analisador de gases Discovery G4. Essa correspondência pode ser vista melhor na figura 16 a) e b) onde foi plotada a resposta do protótipo versus a resposta do analisador de gases para os casos medidos. Esse gráfico mostra também a linha de tendência linear para toda a faixa de medição, com inclinação de 0,985 e correlação de 99,99%. A diferença entre a resposta do sensor e o analisador de gases é muito pequena na faixa de concentração de CO medida, apesar do protótipo não ter sido inserido dentro do escape dos motores conforme foi feito com o analisador Discovery G4.

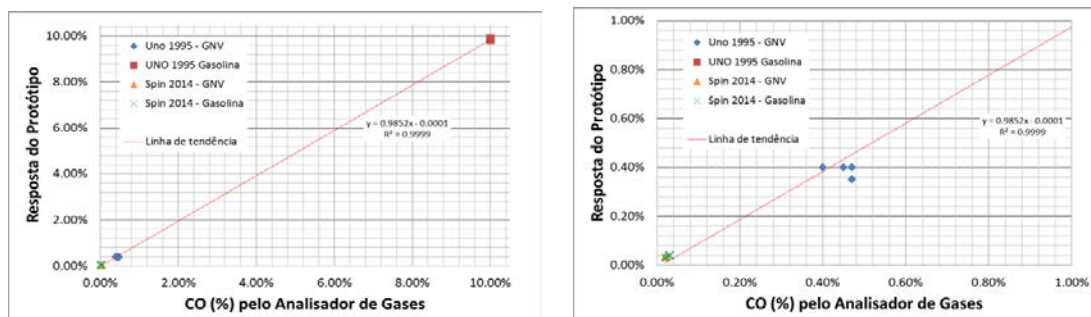


Figura 16 - a) Resposta do protótipo testado em função da concentração de CO medida pelo analisador de gases Discovery G4. b) Mesmo que a) com escala expandida para pequenos valores de CO (%) Fonte: Autores

Os resultados obtidos para os veículos ASTRA de ano 2008, SIENA TETRAFUEL de ano 2014 e a STRADA WORKING de ano 2012 não foram apresentados na Figura 15 ou incluídos no gráfico de resposta do protótipo da Figura 16 porque tanto o analisador de gases Discovery G4 quanto o protótipo (Sensor MQ 7) mediram 0% de emissão de monóxido de carbono (CO) para os combustíveis gás natural (GNV) e álcool.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram uma boa correlação entre os valores de medição do analisador de gases Discovery G4 e o dispositivo desenvolvido para o monitoramento de emissão de monóxido de carbono (Protótipo), validando a possibilidade de se utilizar um dispositivo simples e de baixo custo baseado no sensor MQ7 para medição de CO emitido por veículos automotores. A popularização desses sensores poderá ajudar donos de pequenas oficinas a corrigir problemas antes da necessidade de uma inspeção. Além disso o uso pelos proprietários ajudará a planejar a manutenção do veículo, mantendo o motor bem regulado e diminuindo o consumo de combustível, colaborando com o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABRAHAM and LI, *A Cost-Effective Wireless Sensor Network System for Indoor Air Quality Monitoring Applications*, The 9th International Conference on Future Networks and Communications (FNC-2014) – USA – (2014).

ANDERSEN, *NoxDroid – A Bicycle Sensor System for Air Pollution Monitoring*, University Copenhagen, (2012).

ARDUINO, **Arduino mini**, Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>>. Acesso em: 26 ago. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. **Dispõe sobre a qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil.** Brasília, DF, 22 ago. 1990. Disponível em: <<http://www.pda.ufpr.br/portal/legislacoes/006.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 418, de 25 de novembro de 2009. **Trata da elaboração dos Planos de Controle de Poluição Veicular - PCP**, Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/phocadownload/Qualidade\\_Ambiental/resolucao\\_418-09\\_-\\_inspecao\\_veicular.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/Qualidade_Ambiental/resolucao_418-09_-_inspecao_veicular.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016.

DEVARAKOONDA, *Real-time Air Quality Monitoring Through Mobile Sensing in Metropolitan Areas*, Department of Computer Science Rutgers University, 2013.

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD, *Thecnal data MQ 7 Gas Sensor*, Disponível em: <<http://www.datasheetspdf.com/datasheet/MQ7.html>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

HASENFRATZ, *Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes*, Computer Engineering and Networks Laboratory, ETH Zurich, Switzerland, 2015.

ITEAD STUDIO. *HC-05-Bluetooth to Serial Port Module*, Disponível em: <[ftp://imall.iteadstudio.com/Modules/IM120723009/DS\\_IM120723009.pdf](ftp://imall.iteadstudio.com/Modules/IM120723009/DS_IM120723009.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2016.

LEMOS, M. Arduino: Conheça essa plataforma de hardware livre e suas aplicações. Fazedores. 17 nov. 2013. Disponível em: <[blog.fazedores.com/arduino-conheca-esta-plataforma-de-hardware-livree-suas-aplicacoes](http://blog.fazedores.com/arduino-conheca-esta-plataforma-de-hardware-livree-suas-aplicacoes)>. Acesso em: 20 ago. 2016.

MEADE et al. The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. **Atmospheric Environment**, v. 70, p. 186-203, 2013.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2008.