



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO – IFPE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL**

**LUIZ FERNANDO FERNANDES MIRANDA**

**TECNOLOGIAS PARA CIDADES INTELIGENTES: ESTUDO PARA  
COLETA DE DADOS SOBRE QUALIDADE DO AR UTILIZANDO  
SENSORES AMBIENTAIS DE BAIXO CUSTO**

**Recife, 2015**

**LUIZ FERNANDO FERNANDES MIRANDA**

**TECNOLOGIAS PARA CIDADES INTELIGENTES: ESTUDO PARA  
COLETA DE DADOS SOBRE QUALIDADE DO AR UTILIZANDO  
SENSORES AMBIENTAIS DE BAIXO CUSTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

**Área de Concentração:** Tecnologias e Inovações Ambientais

Prof. Dr. Marco Antonio de O. Domingues  
**Orientador**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra  
**Co-Orientador**

**Recife, 2015**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Amanda Tavares CRB4 1751

M672t    **Miranda, Luiz Fernando Fernandes.**  
Tecnologias para cidades inteligentes: estudo para coleta de dados sobre  
qualidade do ar utilizando sensores ambientais de baixo custo / Luiz Fernando  
Fernandes Miranda. – Recife, PE: O autor, 2015.  
108 f.: il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio de Oliveira Domingues.  
Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-  
Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2015.

Inclui referências.

1. Gestão Ambiental 2. Monitoramento Ambiental. 3. Sensores Atmosféricos.  
4. Métodos Estatísticos. I. Domingues, Marco Antonio de Oliveira (Orientador).  
II. Título.

630.5    CDD

LUIZ FERNANDO FERNANDES MIRANDA

TECNOLOGIAS PARA CIDADES INTELIGENTES: ESTUDO PARA  
COLETA DE DADOS SOBRE QUALIDADE DO AR UTILIZANDO  
SENSORES AMBIENTAIS DE BAIXO CUSTO

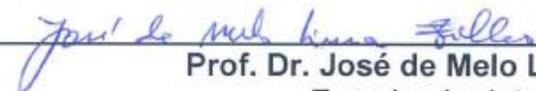
Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

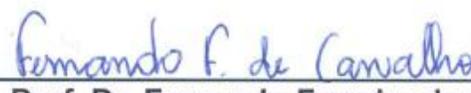
Data da Aprovação: 01 / OUTUBRO / 2015

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marco Antonio de Oliveira Domingues  
Orientador - IFPE

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Wilson Vieira  
Examinador Interno - IFPE

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José de Melo Lima Filho  
Examinador Interno - IFPE

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fernando Ferreira de Carvalho Neto  
Examinador Externo - UPE

## APRESENTAÇÃO

Formado em Tecnologia em Processamento de Dados pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) e Pós-Graduado em Supervisão Educacional pela Universidade Salgado de Oliveira (1995), o autor atuou como profissional de Tecnologia da Informação na iniciativa privada por cerca de 30 anos, com experiência nas áreas de Suporte a Bancos de Dados, Engenharia de Software, Coordenação e Gerência de Projetos de TI. Desde 1987 é professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), atuando na área da informática e em diversas atividades no Ensino à Distância (nas funções de professor formador, conteudista e tutor), em bancas examinadoras e elaboração de provas de Concursos Públicos, bem como em comissões na área de ensino do IFPE.

O interesse pela área de Meio Ambiente e Sustentabilidade aconteceu de forma espontânea, em função da inquietude diante das situações de degradação aos recursos naturais do planeta, tão notórios nos tempos atuais. As questões ligadas à mobilidade urbana, no tocante ao excesso de veículos nas ruas e sua relação direta com a qualidade do ar, despertaram especial preocupação e nos levaram a debruçar sobre o tema. Devido à experiência com a Tecnologia da Informação, a dissertação focou a área de tecnologias ambientais, especificamente estudando, criando e testando soluções inspiradas em redes de sensores sem fio (RSSF), com apelo para o baixo custo de construção, a fim de utilização em monitoramento ambiental.

Espera o autor poder dar continuidade a este estudo, aperfeiçoando modelos e artefatos, visando a possibilidade de implantação de mecanismos confiáveis de monitoramento ambiental em áreas críticas de grandes centros urbanos e desta forma contribuir para a materialização do conceito de cidades inteligentes.

Dedico este trabalho de pesquisa aos ambientalistas e demais pessoas que procuram contribuir, no mínimo que seja, para que todos os seres do planeta possam usufruir de uma vida plena e harmônica com a natureza que os cercam.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, senhor de todas as coisas visíveis e invisíveis do Universo, por me permitir mais essa gratificante experiência de vida.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), instituição acadêmica originada da Escola Técnica Federal de Pernambuco (ETFPE) que me oportunizou seguir a carreira de professor e, agora, galgar mais um degrau na carreira acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental deste Instituto, representada por seu colegiado, pela iniciativa e pioneirismo na criação do primeiro curso de Mestrado do IFPE e pela oportunidade concedida para o meu ingresso no mundo acadêmico.

Ao Professor Dr. Marco Antonio de Oliveira Domingues, orientador desse trabalho, que com sua habitual motivação acolheu meu projeto de pesquisa, aprimorou o tema e formato. Professor incansável pela causa da educação e dos profissionais compromissados. Meus votos de eterna gratidão.

À professora Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra, pelos ensinamentos e pelo entusiasmo quando o assunto é meio-ambiente e sustentabilidade. Suas orientações em muito contribuíram para o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus colegas da 1ª Turma do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental do IFPE, que sempre procuraram motivar, uns aos outros, nos diversos trabalhos nas disciplinas do curso e na defesa das dissertações. São exemplos de coleguismo e amor ao próximo.

Aos colegas pesquisadores que, pelo senso de colaboração, seja em pouca ou muita intensidade, contribuíram para o desenvolvimento deste projeto. São eles: O estudante do IFPE Guthemberg de Souza Interaminense, o pesquisador Helmut Kemper e os professores do IFPE Gilmar Gonçalves de Brito, Domingos Sávio de Assis Beserra e José Neves Cruz. A todos eles, meus agradecimentos e sentimentos de apreço.

Aos diversos professores do IFPE, que com suas sábias palavras me incentivaram e souberam inserir na minha consciência a importância da continuidade da carreira acadêmica. A eles, meus respeitos e gratidão.

À minha querida esposa Maria de Fátima, companheira e detentora das melhores formas de incentivo, diante dos percalços que encontrei ao longo desta jornada de trabalho, e aos meus filhos Leonardo e Luiz Henrique, orgulhos do pai e da mãe, adultos e já com boa experiência de vida, pelo apoio e confiança dispensados.

“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve”  
(Victor Hugo)

## RESUMO

O crescimento das cidades influencia diretamente a qualidade do ar, principalmente nos centros urbanos. Várias doenças graves estão relacionadas à poluição atmosférica; por isso o seu monitoramento é muito relevante para a elaboração de políticas de gestão ambiental relacionado à qualidade do ar. Atualmente, programas de monitoramento em diversas partes do país são realizados por estações de alto custo, posicionadas próximas a fontes emissoras de poluentes, e que realizam o acompanhamento contínuo dos níveis dos agentes poluidores através do uso de sensores. Este trabalho objetivou apresentar solução de monitoramento ambiental de baixo custo para aferição da qualidade do ar utilizando uma plataforma inspirada no conceito de redes de sensores sem fio, com disponibilidade de diversos tipos de sensores atmosféricos e meteorológicos e com capacidade de escoamento de dados baseados em múltiplas tecnologias de redes de acesso. A metodologia empregada foi uma pesquisa de campo exploratória, quantitativa e qualitativa. Além disso, o estudo procura, através dos dados atmosféricos coletados em locais e períodos distintos, utilizar ensaios estatísticos no sentido de relacioná-los a outros fenômenos e, assim, gerar mais informações para tomadas de decisão. Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciaram a possibilidade de se criar mecanismos de monitoramento do ar com investimento a baixo custo.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Sensores Atmosféricos. Métodos Estatísticos.

## **ABSTRACT**

The growth of cities directly influences the air quality especially in urban centers. Several serious diseases are related to air pollution. Hence, your monitoring is very important in order to develop environmental management policies related to air quality. Currently, the monitoring is performed by high-cost stations which are positioned near emission sources, and performing continuous monitoring of pollutants levels through the use of sensors. This study aimed to present low cost environmental monitoring solution for measuring air quality using a platform inspired by our vision of wireless sensor networks, with availability of various types of atmospheric and meteorological sensors and data flow capacity based on multiple technologies networks access. The methodology used was an exploratory field research, quantitative and qualitative. In addition, the study seeks through the collected atmospheric data in local and distinct periods, use statistical trials to relate them to other phenomena and thus generate more information for decision making. The results obtained in this study demonstrated the feasibility of setting up air monitoring mechanisms with low cost investment.

Keywords: Environmental Monitoring. Atmospheric Sensors. Statistical Methods.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão da atmosfera terrestre .....	27
Figura 2 – Exemplos de estações de monitoramento da qualidade do ar .....	32
Figura 3 – Ilustração de uma relação linear .....	40
Figura 4 – Placa controladora Arduino (a) e IDE correspondente (b).....	47
Figura 5 - Módulo captador para uso em ambientes internos (a). Módulo captador para ambientes externos (b).....	48
Figura 6 – Painel Principal da macro PLX-DAQ .....	49
Figura 7 – PLX-DAQ em funcionamento na captura de dados atmosféricos .....	50
Figura 8 – Locais de coleta dos dados ambientais na cidade do Recife: IFPE (A), Bairro das Graças (B) e trecho da Avenida Agamenon Magalhães (C).....	51
Figura 9 - Módulo Captador em funcionamento na guarita de segurança do IFPE .....	52
Figura 10 – Representação de uma rede de módulos captadores ligados a estações-cliente .....	54
Figura 11 – Representação de uma rede de dados ambientais utilizando rede <i>Wi-Fi</i> através da placa ESP8266 .....	55
Figura 12 – Representação de uma rede de sensores usando tecnologia Zigbee.....	57
Figura 13 – Representação gráfica das medições efetuadas no IFPE em 5 de março de 2015 .....	60
Figura 14 – Representação gráfica das medições efetuadas em 25 de março de 2015 no bairro das Graças.....	62
Figura 15 – Representação gráfica das medições efetuadas próximas a quadra de esportes do IFPE em 20 de março de 2015.....	63
Figura 16 – Representação gráfica das medições efetuadas em 29 e 30 de abril de 2015, na grade externa do IFPE a 2 metros da via .....	64
Figura 17 – Representação gráfica das medições nos dias 16 e 17 de agosto de 2015, no bairro das Graças.....	66
Figura 18 – Representação gráfica das medições nos dias 17 e 20 de agosto de 2015, no bairro das Graças.....	66
Figura 19 – Módulo coletor acoplado a veículo .....	67
Figura 20 – Representação gráfica das medições nos dias 21/ago e 04/set de 2015, na Av. Agamenon Magalhães, nos bairros das Graças e Derby – Recife – PE .....	68
Figura 21 – Imagem e representação gráfica das medições próximas ao escapamento de veículo .....	69
Figura 22 – Mapa com localização dos PCDs na região Nordeste do Brasil (esquerda) e Exemplo de PCD (direita).....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil, segundo resolução CONAMA 003/1990 .....	29
Tabela 2 – Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para análise de regressões .....	41
Tabela 3 - Medições efetuadas no IFPE em 5 de março de 2015 (céu claro e pouca nebulosidade).....	59
Tabela 4. Medições efetuadas no bairro das Graças, em 25 de março de 2015 (céu claro e pouca nebulosidade) .....	61
Tabela 5 – Análise de Variância sobre as amostras com 3 variáveis independentes ...	70
Tabela 6 – Análise de variância sobre as amostras com 2 variáveis independentes ...	72
Tabela 7 - Análise de variância sobre a contribuição da variável Número de Carros ...	73

## LISTA DE SIGLAS

GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
IDE	INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT
IEEE	INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELETRONICS ENGINNERS
IEMA	INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE
IPCC	INTERGOVERNMENT PANEL ON CLIMATE CHANGE
MEMS	MICROELECTROMECHANICAL SENSORS
PCD	PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS
PRONAR	PROGRAMA NACIONAL DE CONTROLE NACIONAL DA QUALIDADE DO AR
RSSF	REDES DE SENSORES SEM-FIO
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
UMTS	UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA .....	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
2.3	Justificativa .....	20
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	26
3.1	A qualidade do ar.....	26
3.2	Sensores ambientais - O estado da arte.....	30
3.3	Avaliação e monitoramento ambiental .....	31
3.4	Redes de sensores sem-fio .....	33
3.5	Redes veiculares .....	35
3.6	Cidades inteligentes e cidades sustentáveis .....	36
3.7	Métodos estatísticos .....	39
3.7.1	Regressão Linear Simples e Múltipla .....	39
3.7.2	Notação Matricial .....	42
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	Identificação dos sensores ambientais utilizados no estudo.....	46
4.2	Construção dos protótipos de sensoriamento utilizando Arduino .....	47
4.3	Experimentos de campo para efetuar capturas de dados ambientais .....	50
4.3.1	Medições e análises dos dados.....	52
4.4	Cenários para transmissão e escoamento de dados .....	53
4.4.1	Rede de captação Cliente-Servidor.....	54
4.4.2	Rede de captação <i>Wifi</i> com ESP8266.....	54
4.4.3	Rede de captação padrão Zigbee com placa CF430F6147 .....	56
4.5	Estudos estatísticos de análise de regressão linear .....	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
5.1	Resultados das capturas iniciais para verificação da calibração .....	59
5.2	Outras capturas .....	65
5.3	Outros indicadores.....	69

5.4	Modelos matemáticos obtidos com os ensaios estatísticos .....	70
5.4.1	Propostas de modelagem.....	70
5.4.2	Resultados dos ensaios.....	73
5.5	Publicações.....	74
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	76
6.1	Ações para comparações de medições e calibragem.....	77
6.2	Outras ações para continuidade do projeto .....	80
7	REFERÊNCIAS .....	81
8	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	85
	APÊNDICE A – QUADRO-RESUMO DE MEDIÇÕES EFETUADAS NA PESQUISA – ANO: 2015 .....	88
	APÊNDICE B – CÓDIGO-FONTE EMBARCADO NA PLACA ARDUINO.....	89
	APÊNDICE C – PROGRAMAS-FONTE JAVA UTILIZADOS NOS TESTES DE ESCOAMENTO DE DADOS.....	91
	APÊNDICE D – TABELA DE AMOSTRAS E DESDOBRAMENTOS EM ELEMENTOS UTILIZÁVEIS NA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....	95
	ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO SENSOR DE MONÓXIDO DE CARBONO MQ7 ...	101
	ANEXO B – MACRO PLX-DAQ (CARACTERÍSTICAS GERAIS).....	104
	ANEXO C – LIMITES UNILATERAIS DA DISTRIBUIÇÃO F DE FISHER-SNEDECOR AO NÍVEL DE 1% DE PROBABILIDADE.....	107
	ANEXO D – LIMITES UNILATERAIS DA DISTRIBUIÇÃO F DE FISHER-SNEDECOR AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE.....	108

## 1 INTRODUÇÃO

Neste início de século XXI a humanidade convive em meio a grandes adversidades ambientais e sociais. Os apelos por economia de água e energia refletem a grave crise hídrica, energética e econômica no mundo. A produção de resíduos sólidos continua crescendo, os problemas de mobilidade urbana persistem e a ocorrência de desastres naturais em grande número evidencia as mudanças climáticas em todo o planeta. Organizações (governamentais ou não) buscam sistematizar ações na sociedade em geral em prol da cultura pela sustentabilidade, visando reduzir o ritmo das práticas predatórias do homem ao meio ambiente.

A sustentabilidade é certamente um componente fortemente integrado ao conjunto de desafios das várias áreas da atividade humana nas últimas décadas. No contexto ambiental, o uso da palavra sustentabilidade está vinculado ao conceito de desenvolvimento sustentável, formalmente definido pela primeira vez no Relatório Brundtland<sup>1</sup> em 1987, como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades. Butzke e Pontalti (2014) entendem que *sustentabilidade* é um conjunto de ações capaz de permitir a continuidade e renovação do meio ambiente respeitando seus ciclos naturais.

Segundo o relatório da Conferência de Estocolmo (1972), é proclamado que “o homem é ao mesmo tempo obra e construtor do meio ambiente que o cerca, o qual lhe dá sustento material e lhe oferece oportunidade para desenvolver-se intelectual, moral, social e espiritualmente [...] o homem adquiriu o poder de transformar [...] tudo que o cerca”. Desde então as organizações internacionais intensificam fóruns e reuniões no sentido de ordenar disciplinarmente o uso dos recursos naturais pelos países de todo o planeta, no entanto, mesmo após mais de quatro décadas de ações e discussões sobre

---

<sup>1</sup> Documento elaborado pela Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujo título é *Nosso Futuro Comum* ficou conhecido como Relatório Brundtland em homenagem à primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que chefiou os trabalhos realizados por essa comissão, em 1987.

o tema, o meio ambiente emite sinais de que não suportará o ritmo de consumo e degradação exercido pelo homem.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC<sup>2</sup> (2014), os seres humanos e o meio ambiente já estão sentindo os efeitos das mudanças climáticas e, caso atitudes preventivas não sejam tomadas, o cenário ambiental será catastrófico em todo o planeta. Jorgen Randers<sup>3</sup> (2012) acredita que a humanidade não conseguirá evitar o colapso climático global, mas apenas adiá-lo.

A expansão em ritmo exponencial das cidades é notória. Steinert et al. (2011) descrevem que isso ocorre porque o aumento da atividade econômica, a industrialização e, por conseguinte, o consumo desenfreado associados às cidades, trazem consigo uma transformação do ambiente físico e natural que, em sua maior parte, não pode ser desfeita. Esta conclusão baseia-se em matemática simples: As cidades consomem 75% da energia mundial e produzem 80% das emissões de gases de efeito estufa. O rápido crescimento urbano não planejado ameaça o desenvolvimento sustentável quando a infraestrutura necessária não é desenvolvida ou quando as políticas não são implementadas para garantir que os benefícios da vida urbana sejam equitativamente partilhados (UNITED NATIONS, 2014).

A urbanização sem planejamento vem agravando criticamente a qualidade de vida das populações e a aumentando a dificuldade de se administrar as cidades, sobretudo no que diz respeito à gestão sustentável no uso do solo, da água e do ar. Este último elemento foi elencado como o foco deste estudo.

Para enfrentar o desafio da sustentabilidade em toda sua complexidade, são necessárias novas ideias, novas tecnologias, novos modos de colaboração e novas maneiras de ver o mundo. O desenvolvimento sustentável deve abranger todas as

---

<sup>2</sup> Órgão estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1988, com o objetivo de fornecer ao mundo panoramas científicos sobre mudanças do clima terrestre seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos. Possui 195 Estados-membros.

<sup>3</sup> Norueguês, professor de Estratégia Climática do BI Norwegian Business School. Membro de várias instituições sociais norueguesas e conselheiro de sustentabilidade da British Telecom (Reino Unido) e na Dow Chemical Company, nos EUA. Autor do livro *2052: A global forecast for the next forty years*.

atividades de desenvolvimento econômico e social, que envolvem ações paralelas disciplinadoras do uso dos recursos naturais, com o objetivo de não esgotá-los e preservá-los para que nossos descendentes possam deles usufruir tanto quanto nós. Baseado nos preceitos de Sachs (2004), que define cinco pilares para o desenvolvimento sustentável: Social, Ambiental, Territorial, Econômico e Político, Radomsky e Peñafiel (2013) definem desenvolvimento sustentável como “um processo de expansão das liberdades das pessoas, de modo que isso não comprometa as liberdades das gerações futuras [...] de modo que se compatibilizem viabilidade econômica, superação da pobreza e da desigualdade, preservação da biodiversidade, limitação de uso de recursos não renováveis e governança democrática”.

Os atuais modelos de desenvolvimento da sociedade estabelecem, então, um paradoxo protagonizado, por um lado, pelos fatores de desenvolvimento humano perniciosos ao meio-ambiente e, por outro lado, por medidas controladoras dessas mesmas ações de desenvolvimento.

Dentre as variantes da natureza que compõem o meio-ambiente e que são objetos de estudo para um desenvolvimento sustentável sob o ponto de vista ambiental, está o ar que respiramos. A qualidade de sua composição é uma constante preocupação e torna-se foco de discurso entre organizações, autoridades e população, principalmente na esfera dos grandes centros urbanos e industriais, onde esta qualidade é afetada pelas diversas ações antrópicas (principalmente atividade industrial e utilização, frequente e em crescimento, de veículos automotores) e, ocasionalmente, da própria natureza (erupção de vulcões, por exemplo). Vários agentes nefastos são encontrados na atmosfera, comumente denominados de poluentes atmosféricos. Os mais destacados poluentes são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e material particulado (MP), dentre outros.

O monóxido de carbono resulta de uma combustão incompleta que ocorre nas câmaras de combustão dos motores, devido à insuficiência de oxigênio no processo de combustão, pois são necessários dois átomos de oxigênio para que o carbono complete suas ligações moleculares.

Poluente atmosférico, de acordo com a resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990, é “toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. O nível de poluição atmosférica é determinado pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar (CETESB, 2015).

É evidente reconhecermos episódios de poluição do ar em grandes centros urbanos, através da presença da fumaça, muitas vezes de cor escura, que sai dos escapamentos dos veículos e se mistura ao ar que respiramos. Não obstante, as alterações na paisagem das grandes cidades permite o agravamento da concentração de poluentes no ar. Edifícios de concreto e pavimentações de ruas substituem solos permeáveis, vegetação e espaços abertos, formando “paredões” de prédios e “tapetes” de asfalto, permitindo com isso a elevação da temperatura nessas microrregiões urbanas.

Outra importante fonte poluidora do ar é aquela gerada pelas indústrias, onde a fumaça gerada por suas caldeiras e motores e conduzidas ao alto por suas chaminés simbolizavam tradicionalmente o evento da poluição perante a sociedade, já que a coloração da fumaça torna sua presença mais perceptível aos olhos da população, chamando muito mais sua atenção e provocando reações mais contundentes do que aqueles altamente tóxicos emitidos pelos automóveis. São inegáveis os avanços tecnológicos para redução das emissões, registrados neste setor nas últimas décadas, bem como as adaptações das leis orgânicas das cidades que versam sobre disciplinas na ocupação do solo e na localização de novas unidades produtivas. De qualquer forma, são ações apenas redutoras, e não eliminadoras, do volume de agressão ao meio ambiente.

Ostensivamente estudados pela ciência, o mal causado aos organismos vivos, principalmente pela emissão do monóxido de carbono na atmosfera, contextualiza uma vertente importante contra o bem-estar da sociedade como um todo. A quantidade

deste elemento (e outros poluentes) misturado ao ar que respiramos só pode ser mensurada de forma correta através de equipamentos de precisão e construídos especificamente para essa finalidade; porém estes possuem custos elevados e é neste ponto que este trabalho apresenta suas contribuições. Diante dos recursos atuais produzidos pela tecnologia, é possível criar meios para, em larga escala, estabelecer mecanismos de mensuração da qualidade do ar a custos mais reduzidos.

Para melhor entendimento e organização deste trabalho, o presente documento foi dividido em cinco seções, distribuídos da seguinte forma: nesta primeira seção introdutória, é apresentada uma visão generalizada sobre o meio ambiente e suas diversas vertentes, apontando diversas situações e características relacionadas a este trabalho. Na segunda seção, são apresentadas as justificativas que motivaram a sua elaboração.

Na terceira seção apresentamos os objetivos gerais e específicos do trabalho, contextualizando o que se deseja almejar com os estudos aqui definidos. Na quarta seção é apresentada uma revisão da literatura atual, com conceitos importantes e trabalhos correlatos, procurando evidenciar o estado da arte em ações de monitoramento ambiental e seus elementos.

Na quinta seção é explanada a metodologia adotada, citando as divisões do trabalho em etapas e os procedimentos adotados para se chegar aos resultados. Estes são detalhados na sexta seção, basicamente com a citação dos valores obtidos nas coletas de dados atmosféricos, estabelecimento de comparativos e relacionamento entre essas grandezas ambientais e os eventos antrópicos.

Por fim, na sétima seção são apresentadas as conclusões do estudo, formatando possíveis ações futuras no sentido de aperfeiçoar o experimento aqui delineado e também servir de preâmbulo para outras atuações no campo do monitoramento ambiental. Seguem-se as referências citadas neste documento e a bibliografia complementar utilizada, além de anexos e apêndices que abrigam documentos adicionais.

## 2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O presente trabalho está calcado na vertente de tecnologias ambientais e os seus objetivos e justificativas são apresentados a seguir.

### 2.1 Objetivo Geral

Apresentar um módulo captador, inspirado nas redes de sensores sem fio (RSSF), aplicáveis ao problema de monitoramento da qualidade do ar em centros urbanos, a baixo custo, multi-sensores, com capacidade para captar e armazenar dados atmosféricos em tempo real, com vistas a ser implantado em larga escala.

### 2.2 Objetivos Específicos

- a) Projetar e construir módulos de monitoramento ambiental com base em componentes de baixo custo (utilizando a plataforma eletrônica de prototipagem Arduino<sup>4</sup>), com a finalidade de coletar dados atmosféricos e armazená-los em bases de dados para posterior tratamento;
- b) Estabelecer cenários para configuração de redes para escoamento dos dados ambientais coletados pelos sensores, em tempo real, preferencialmente com grande autonomia e baixo consumo de energia;
- c) Estabelecer modelos estatísticos de regressão linear com base nos dados coletados, com o objetivo de estabelecer equações que possam vincular

---

<sup>4</sup> Pequena placa eletrônica microcontroladora, programável, com entrada USB que permite a conexão com um computador, mas pode funcionar sem a presença de um. Contém diversos outros terminais que permitem a conexão com dispositivos externos, como motores, relés, sensores luminosos, dentre outros.

variáveis ambientais coletadas e relacioná-las a outras grandezas ambientais ou mesmo a parâmetros importantes sobre qualidade do ar.

### **2.3 Justificativa**

Existem realidades diferentes nas ações de monitoramento ambiental no território brasileiro. Um bom exemplo de agência reguladora, a CETESB é detentora de uma rede de numerosas estações de coleta automática em pleno funcionamento. Já em outros estados não existe estrutura semelhante, estando longe de um patamar aceitável em tempos de chamadas pela sustentabilidade. Isso pode ser explicado pelo fato daquele estado, à frente economicamente das demais unidades federativas brasileiras, possuir os maiores patamares de urbanização e industrialização do Brasil, merecendo assim melhores e mais urgentes ações de monitoramento. No entanto, diante de um quadro mundial de apelo crescente por ações de preservação ambiental, não se pode priorizar apenas este tipo de controle em regiões críticas ou de grande estágio de urbanização. O ritmo de crescimento desordenado de várias outras cidades brasileiras expõe o senso de urgência de ações mitigadoras da poluição atmosférica também nesses locais.

Em dezembro de 2013, a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado de Pernambuco (SEMAS) em conjunto com a Agência Estadual do Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) inaugurou uma estação de monitoramento da qualidade do ar no Complexo Industrial Portuário de Suape – Município de Cabo de Santo Agostinho, região metropolitana do Recife, a um custo de R\$ 2.591.460,00. As medições online e em tempo real medirão a emissão de gases poluentes PM10 (partículas com diâmetro menor que 10 microns), dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e ozônio (SUAPE, 2013). Este complexo portuário é um importante pólo concentrador e distribuidor de cargas que abriga mais de 100 empresas na sua operação, dentre elas, indústrias de produtos químicos, metal-mecânica, naval e logística.

Devido à importância econômica da região para o Estado e os impactos ambientais que ocorrem devido à sua operação, justifica-se uma solução de monitoramento de custo elevado e cobertura local à região do seu entorno; contudo é preciso que as ações de controle da qualidade do ar se estendam a outras regiões que possuam potencial para gerar riscos ao ambiente e à população.

Em junho de 2015, um protocolo de entendimento, assinado pela Agência Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH) e SEMAS, com o *Laboratoire des Sciences du Climat & de L'Environnement (LSCE)*, da França, permitiu a instalação de duas estações experimentais que captam partículas dos poluentes no ar no grande Recife: um na zona norte e outro na zona sul da cidade. Os dados coletados serão usados pelo laboratório francês para criar um modelo matemático representativo do que acontece na natureza (JORNAL DO COMMERCIO, 2015). Os equipamentos funcionarão por apenas quatro meses, quando serão retirados.

No restante da cidade do Recife e em várias capitais brasileiras, não há sistemas de monitoramento urbano da qualidade do ar ou, quando existem, apresentam sistemas com tímidas ações de coleta de variáveis ambientais ou mesmo sistemas obsoletos. Um estudo inédito e detalhado, efetuado em 2014 e chefiado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) reforça esta conclusão. Iniciado em 2011, o estudo buscou mostrar a cobertura atual da rede de monitoramento de qualidade do ar operada pelo poder público no Brasil e revelou que em apenas 12 unidades federativas – Bahia, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe – os dados sobre qualidade do ar eram gerados e armazenados, possuindo formato, histórico e configuração adequada de equipamentos, resultando em um grau satisfatório de representatividade segundo os critérios adotados. A ausência de outros estados da federação revelam que estes possuem pouco ou nenhum procedimento importante na área de controle da qualidade atmosférica. As ações desprendidas neste trabalho de pesquisa comprovaram a afirmativa do estudo do IEMA, trazendo o referencial para o estado de Pernambuco – especificamente sua capital Recife, onde os diversos órgãos ambientais abrigam suas competências prioritariamente sobre outras grandezas ambientais.

Incorporando outras regiões pernambucanas ao problema da poluição atmosférica verifica-se, além da refinaria Abreu e Lima citada anteriormente, que o crescimento do complexo Industrial Portuário de Suape, no município de Cabo de Santo Agostinho, a implantação, no município de Goiana, de uma unidade industrial automotiva da Fiat Chrysler Automóveis, a presença do pólo fármaco-químico administrado pela Hemobrás (Empresa Brasileira de Hemoderivados e Biotecnologia), a implantação da Cervejaria do Grupo Petrópolis em Itapissuma, bem como a de vários outros empreendimentos industriais nos municípios de Igarassú e Araçoiaba alavancaram novas cadeias produtivas e, por conseguinte, o nível da atividade industrial do estado de Pernambuco nos últimos anos. Atrelado a estes eventos, urge a necessidade de agir em prol da elaboração de diretrizes para um monitoramento ambiental compatível com essa eclosão.

Os impactos da degradação da qualidade do ar vão além da esfera ecológica: abarcam problemas sociais e de saúde pública, como a vulnerabilidade das populações carentes e o agravamento de doenças respiratórias, especialmente em crianças e idosos, e de ordem econômica, como o aumento dos custos dos sistemas de saúde com internações hospitalares, só para citar alguns. (IEMA, 2012).

A deflagração de estado de emergência ambiental para a região metropolitana de Santiago, no Chile em junho de 2015, proferida pelas autoridades daquele país (REUTERS, 2015) evidencia esta perigosa ofensividade. Na ocasião, e por conta da poluição do ar, mais de 900 indústrias foram forçadas a paralisar temporariamente suas atividades, bem como o impedimento de circulação de cerca de 40 por cento dos 1,7 milhões de carros existentes na capital chilena.

Segundo Nobre et al. (2010), estudos indicam que a população na faixa etária acima de 65 anos e abaixo dos 5 anos de idade é a que apresenta a saúde mais comprometida quando a temperatura ambiente fica fora da chamada “zona de conforto térmico”. Alterações de mecanismos de regulação endócrina, de arquitetura do sono, de pressão arterial e do nível de estresse podem ser relacionadas como fatores mais frequentes e de igual importância. O aumento na frequência de extremos de temperatura [...] irá aumentar seus efeitos adversos nos segmentos mais frágeis e

vulneráveis da população, notadamente crianças, idosos e os mais pobres. [...] um evento meteorológico extremo matou 32 pessoas idosas em Santos – SP, por causa do forte calor ocorrido em fevereiro de 2010. No dia das mortes, os termômetros mediram 39 graus e à noite a umidade chegou a 21% (calor e ar seco), condição meteorológica atípica e bastante desconfortável. Fenômenos extremos como estes estão se tornando cada vez mais frequentes por causa das mudanças climáticas.

Regressando para esfera urbana, é pertinente citar a existência outro fenômeno recorrente que se incorpora aos demais antropizados no contexto das cidades: as chamadas ilhas de calor. Segundo Seo (2011), na medida em que as áreas urbanas se desenvolvem, ocorrem alterações em sua paisagem. Edifícios, estradas e outras infraestruturas típicas de áreas urbanas substituem áreas de vegetação e outros espaços abertos. Superfícies que antes eram permeáveis e úmidas se tornam impermeáveis e secas. Essas mudanças fazem com que regiões urbanas se tornem mais quentes do que seu entorno rural, formando uma “ilha” de temperaturas mais elevadas. Ilhas de calor ocorrem junto da superfície do solo e na atmosfera, inclusive em cidades litorâneas, onde as correntes de vento advindas do oceano atuam como elemento atenuante do calor. Trata-se de um fenômeno climático formado pela conjugação de diversos fatores como a poluição atmosférica, a alta densidade demográfica, a pavimentação de áreas verdes, a construção de prédios que dificultam a passagem do vento e a grande quantidade de veículos, que contribuem para o aumento da retenção de calor na superfície.

A massificação da presença de construções nas cidades pode contribuir para o retardamento da dissipação de poluentes atmosféricos, já que outros fenômenos (umidade do ar, temperatura e regime de ventos) são mais determinantes. Atualmente, devido às regulamentações sobre construção de prédios nas cidades, se percebe menores impactos sobre a passagem dos ventos, por exemplo, em função da obrigatoriedade de respeitar distâncias entre as construções. Essa preocupação não existia em décadas anteriores. Um clássico exemplo são os edifícios situados no bairro de Copacabana, no Rio de Janeiro, onde já na década de 1950 a paisagem de suas ruas era permutada por vários prédios ligados um ao outro nas suas laterais, de forma contígua, sem haver espaço aberto entre eles. Esses verdadeiros “paredões” de

concreto permanecem na paisagem, dificultando a circulação do vento e, com isso, contribuindo para que os elementos poluentes em suspensão no ar permaneçam na região sem se dissipar.

Além do fenômeno das ilhas de calor, encontramos dois atores fundamentais, influenciadores da qualidade do ar que respiramos: a atividade industrial e o sistema de mobilidade urbana. Foco das atenções ambientais principalmente na década de 1970, o processo industrial foi objeto de várias diretrizes disciplinadoras das conseqüências de suas operações ao meio ambiente, embora nem por isso deixe de ser um inconveniente a ser tratado. Fundamentando o problema da poluição atmosférica sob o prisma da mobilidade urbana, percebe-se que cidades não planejadas tendem a continuar crescendo de forma desordenada, provocando desconfortos no cotidiano de seus habitantes, tais como a movimentação de grande número de pessoas em espaços pequenos e o entrave no deslocamento das pessoas devido ao excesso de veículos automotores circulando nas vias urbanas. Esse excesso compromete a agilidade, a eficiência, o conforto e a segurança dos habitantes de uma cidade. É notória e facilmente perceptível a influência dos automóveis particulares neste contexto, pois se por um lado apresenta-se como elemento responsável por cobrir distâncias em menor espaço de tempo, por outro é responsável pela emissão de poluentes (dentre eles o Monóxido de Carbono) na atmosfera. O binômio mobilidade urbana/qualidade do ar, portanto, apresenta uma relação direta de causa e conseqüência nos discursos no campo da saúde social e no paradigma da qualidade de vida.

A relação estreita entre mobilidade urbana e qualidade do ar, as conseqüências para a saúde pública e a busca para relacioná-los de forma ostensiva e a baixo custo, molda a circunstância inicial que motivou o desenvolvimento deste projeto, que teve enfoque na avaliação e monitoramento da qualidade do ar. O arcabouço do projeto busca respostas para o seguinte elenco de questões norteadoras:

- a) De que forma se pode contribuir, em termos de criação de instrumentos e/ou métodos, para mensurar eficientemente o nível de poluentes atmosféricos e relacioná-los ao grau de mobilidade urbana numa cidade não planejada como a cidade do Recife?

- b) De que forma as tecnologias de informação e comunicação podem contribuir para melhorar a qualidade de vida dos habitantes mitigando as variantes danosas à atmosfera?
- c) Pode um sistema de monitoramento de baixo custo construir indicadores com parâmetros confiáveis em regiões onde a criticidade da qualidade do ar não é historicamente tão alta? Até que ponto podem servir nas regiões de altas concentrações de poluentes?

A busca de respostas a essas relações é o ponto-chave para uma real contribuição deste estudo à sociedade.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Este tópico abordará, para o embasamento teórico da pesquisa, uma revisão sobre os principais temas tratados no documento, envolvendo monitoramento ambiental.

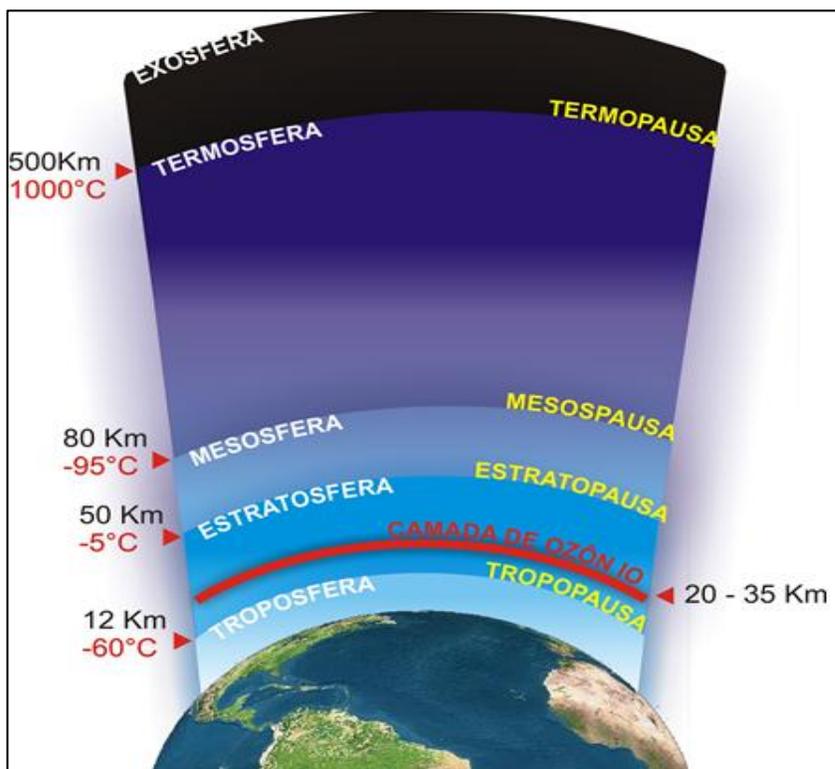
#### 3.1 A qualidade do ar

A atmosfera terrestre é composta por uma camada de gases que envolve todo o nosso planeta e que é retida pela atração gravitacional. Apresenta cinco camadas verticais (troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera), diferenciando uma das outras de acordo com a densidade dos elementos químicos que a compõe (OLIVEIRA, 2009). A definição da altura das duas primeiras camadas atmosféricas (50 km) demonstra o pequeno porte delas comparada ao diâmetro da Terra (em torno dos 13.000 km). Quanto mais distante a camada da superfície da Terra, mais rarefeita ela é. A troposfera é a camada mais próxima da crosta terrestre, onde vivemos. Ela é definida até cerca de 10 a 12 km de altura e é basicamente composta por 78,1% de nitrogênio, 20,9% de oxigênio e outros gases que, juntos, representam os 1% restantes (Figura 1). É na troposfera que ocorrem os fenômenos climáticos externos do planeta como a chuva, relâmpagos, formação de neve, formação de nuvens, dentre outros. De modo óbvio é nela onde ocorre a poluição do ar. Já na camada seguinte (estratosfera), definida na faixa entre 10 e 50 km de altura, é onde se encontra a camada de ozônio (O<sub>3</sub>), responsável pela proteção do planeta às ações diretas dos raios ultravioletas, emanadas pelo sol. É nela, portanto, que ocorre o efeito estufa (processo natural que impede que a temperatura em nosso planeta esfrie mais do que deveria). O desequilíbrio do efeito estufa é causado pelos seguintes fatores:

a) Emissão de gases que, ao serem liberados em grande quantidade, destroem as camadas de ozônio. Com isso, os raios ultravioleta penetram mais diretamente na superfície do planeta, contribuindo assim para o aquecimento global;

b) Formação de uma camada de gases sobre a superfície, impedindo que o excesso de raios solares seja refletido de volta para o espaço em forma de radiação infravermelha, dificultando a dissipação do calor por completo. Os gases causadores deste desequilíbrio são o Dióxido de Carbono -  $\text{CO}_2$  (que é produzido principalmente pela queima de combustíveis fósseis), o Óxido Nitroso ( $\text{NO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e os Clorofluorcarbonetos (CFC), constituídos por átomos de Carbono, Flúor e Cloro.

Figura 1 – Divisão da atmosfera terrestre



Fonte: <http://camadasatmosfera.xpg.uol.com.br/>

Segundo a CETESB (2015), com relação à sua origem, os poluentes podem ser classificados como:

- Primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão
- Secundários: aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes e/ou constituintes naturais na atmosfera

Para calcular o nível de poluição do ar, são estabelecidas medições que tomam por base a concentração dos elementos contaminantes. As relações são expressas em microgramas por metro cúbico de ar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou pelo número de moléculas de contaminantes por milhão de moléculas de ar (ppm). Trechos da Resolução CONAMA Nº 3/1190 sobre os padrões de qualidade do ar:

Art.1º. São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassados, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo único: Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: I – Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II – Inconveniente ao bem-estar público; III – Danoso aos materiais, à fauna e flora; IV – Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

De acordo com a Lei 6.938/81 da Política Nacional de Meio Ambiente, os padrões de qualidade do ar foram incorporados como um dos instrumentos da política ambiental, (artigos 2º, VII, 4º, III e 9º, I) (Brasil, 2012). Com a instituição do Programa Nacional de Qualidade do Ar (PRONAR), em 1989, foi elaborada a classificação dos padrões com a seguinte tipagem:

- a) Primários: Define as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, podendo ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos
- b) Secundários: Define as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e flora, aos materiais e meio ambiente em geral, podendo ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes

Nesse contexto, os padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil são definidos de acordo com a Resolução CONAMA 003/1990, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil, segundo resolução CONAMA 003/1990

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Método de Medição
Partículas totais em suspensão	24 horas <sup>1</sup>	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA <sup>2</sup>	80	60	
Partículas inaláveis	24 horas <sup>1</sup>	150	150	Separação inercial / filtração
	MAA <sup>3</sup>	50	50	
Fumaça	24 horas <sup>1</sup>	150	100	refletância
	MAA <sup>3</sup>	60	40	
Dióxido de Enxôfre	24 horas <sup>1</sup>	365	100	Pararosanilina
	MAA <sup>3</sup>	80	40	
Dióxido de Nitrogênio	24 horas <sup>1</sup>	320	190	Quimiluminescência
	MAA <sup>3</sup>	100	100	
Monóxido de Carbono	1 hora <sup>1</sup>	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas <sup>1</sup>	10.000	10.000	
		9 ppm	9 ppm	
Ozônio	1 hora <sup>1</sup>	160	160	Quimiluminescência

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

Fonte: CONAMA / 1990 (adaptado pelo autor)

Ainda de acordo com a CETESB, os padrões de qualidade do ar estão associados ao tempo de exposição (1h e 8h) que ocasiona efeito à saúde humana e são estabelecidos baseados em estudos epidemiológicos. Para um período de curta exposição, concentrações maiores tem efeito agudo na saúde e, para períodos maiores de exposição, concentrações menores podem ocasionar efeitos crônicos na saúde, principalmente para grupo de pessoas mais sensíveis (idosos e crianças, principalmente).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a qualidade do ar é, em linhas gerais, fruto de um conjunto de fatores e eventos dentre os quais se destacam a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, favoráveis ou não à dispersão dos poluentes.

### **3.2 Sensores ambientais - O estado da arte**

O apelo pelo controle de dados ambientais, onipresente num mundo cada vez mais preocupado com ações de sustentabilidade, desencadeou na sociedade uma crescente mobilização por ações de monitoramento desses dados de forma confiável e com custo/benefício viável, não só para as organizações controladoras dos recursos da natureza (órgãos fiscalizadores, no tratamento de águas e efluentes, preservação das matas e florestas, no ordenamento urbano e outras, etc), mas também pelas diversas empresas do setor industrial que, direta ou indiretamente, consomem esses recursos. Assim, se estabelece uma frente de trabalho onde os processos de obtenção de dados contribuem para práticas cada vez mais eficientes de monitoramento e controle ambiental.

Uma das técnicas atualmente utilizadas consiste-se na adoção de sensores em Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT) para captação de dados ambientais. Esses veículos fazem então o papel de plataforma móvel para transporte dos sensores para locais remotos, possibilitando a coleta e envio dos dados para uma estação base.

Um dos experimentos de utilização deste tipo de equipamento acontece no estado de Tocantins. Teixeira et al. (2014), testaram em seu projeto um VANT inicialmente acoplado sensores de temperatura e umidade compatíveis com a plataforma de *hardware* aberto Arduino. O projeto estabeleceu uma parceria com Órgãos Estaduais de Defesa Civil e buscou atuar como elemento de suporte em ações de monitoramento de áreas de risco em ambientes urbanos e rurais e também em detecção de focos de queimadas. A este arquétipo pode ser incorporada outra gama de sensores ambientais, visando ampliar a variedade de elementos do meio ambiente a

serem captados (pressão atmosférica, velocidade do vento, gases, fumaça e produtos químicos).

Na agricultura de precisão<sup>5</sup>, procura-se explorar a potencialidade de uso dessas redes em atividades como irrigação, controle de pragas e doenças, mapeamentos de produtividade, dentre outros (SANTOS, 2010) podendo atuar em conjunto com duas outras tecnologias: o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

As RSSF se apresentam em diversas aplicações nesta modalidade de agricultura, onde técnicas inovadoras, em parceria com a tecnologia da informação, buscam extrair o máximo de produtividade dos cultivares sem, no entanto, causar grande degradação ambiental.

### **3.3 Avaliação e monitoramento ambiental**

Segundo Sissino & Torres (2013), avaliação ambiental consiste-se na determinação da concentração dos contaminantes nos vários compartimentos ambientais – solo superficial, solo profundo, sedimento, água superficial, água subterrânea ar, biota – além de poeiras, emissões atmosféricas, efluentes líquidos (industriais ou domésticos) e resíduos sólidos, e sua comparação com valores de background (níveis naturais) e/ou valores de referência (valores máximos permissíveis estipulados por instrumentos reguladores).

A ação de monitoramento é considerada como extensão de uma avaliação. O monitoramento pode ser efetuado de forma manual, através do uso de instrumentos de medidas, ou automatizado, através do uso de instrumentos sensores que operam sem intervenção constante (Figura 2). Ainda de acordo com Sissino & Torres (2013),

---

<sup>5</sup> A agricultura de precisão caracteriza-se pela divisão de um terreno agrícola em partes, sendo que cada uma dessas terá a sua produção controlada diferenciadamente, de acordo com as informações obtidas através de posicionamento geográfico. Esta técnica permite vantagens econômicas para o agricultor e benefícios ao meio ambiente (TSCHIEDEL, 2002).

avaliação ambiental torna-se monitoramento ambiental quando passa a ser realizado periodicamente. Consiste-se de ações de coleta, armazenamento, análise e avaliação sistemática das amostras ambientais, com o objetivo de identificar os elementos naturais nativos, os contaminantes e suas respectivas concentrações. Especificamente no monitoramento atmosférico, devem ser identificadas principalmente as concentrações de Oxigênio e Nitrogênio, bem como os mais importantes elementos poluentes, quais sejam: Material Particulado (MP), Dióxido de Enxôfre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Monóxido de Carbono (CO).

**Figura 2 – Exemplos de estações de monitoramento da qualidade do ar**



Fontes: <http://www.rj.gov.br> (esq.) e <http://www.ambiente.sp.gov.br> (dir.)

Aglutinando as definições acima e aproximando-as da perspectiva da qualidade do ar, uma vez definidos os elementos a serem monitorados, dá-se então o registro de todas as variantes que envolvem o sistema: locais de coleta, frequência de coleta e parâmetros adicionais como características do tempo e do clima (chuvas, nebulosidade, claridade do céu, dentre outros). Os dados armazenados são mantidos para obtenção de resultados que possam justificar relações entre fenômenos ambientais ou mesmo inter-relações dos elementos coletados. Análises de registros históricos e o acompanhamento contínuo podem auxiliar na formulação de tendências na esfera ambiental (aqui neste estudo especificamente no âmbito atmosférico),

podendo os resultados servir de base para tomadas de decisão para prevenção e controle da poluição do ar.

Um estudo da Faculdade de Medicina de São Paulo (COELHO, 2011) aponta que a junção do tempo seco com o acúmulo de poluentes no ar pode agravar problemas respiratórios e cardíacos em idosos já doentes, levando-os mais rápido à morte. O monitoramento é, portanto, um instrumento adequado para a aplicação de outros mecanismos de gestão ambiental, já que a partir dele pode-se identificar potenciais riscos provenientes de fontes de emissão de poluentes e avaliar se os parâmetros de qualidade do ar da região monitorada estão sendo atendidos ou não.

### **3.4 Redes de sensores sem-fio**

Os dispositivos computacionais estão em constante evolução tecnológica, tornando-os cada vez mais precisos. Concomitantemente, em função dos recursos de micro e nanotecnologia, eles apresentam, a cada nova geração de dispositivos, tamanhos físicos menores com relação às anteriores. Isso permitiu, sob a ótica do sistema produtivo, que esses equipamentos sejam montados a custos menores, viabilizando, portanto suas produções em larga escala. Assim, a tendência é que o ciclo investimento-desenvolvimento-produção permita que esses dispositivos obtenham constantes melhoras e capacidades.

Não obstante, o avanço que tem ocorrido na área de microprocessadores, novos materiais de sensoriamento, micro sistemas eletromecânicos (MEMS – *Micro Electro-Mechanical Systems*) e comunicação sem fio têm estimulado o desenvolvimento e uso de sensores inteligentes em áreas ligadas a processos físicos, químicos e biológicos, dentre outros. (LOUREIRO et al., 2003).

Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) são tipos especiais de redes *ad hoc* com capacidade de coletar e processar informações de maneira autônoma, estando esses sensores distribuídos em uma determinada área (AKYLDIZ et al., 2002). Nas atividades ligadas à área ambiental, elas são implementadas geralmente em áreas (abertas ou

fechadas) para monitoramento de fenômenos do mundo real, obtendo-se medições de variáveis da natureza como umidade, chuva, solo, temperatura, pressão atmosférica e composição do ar, bem como variáveis como distância, direção, intensidade luminosa, movimento, som, peso e vibração, dentre outras.

Já na área da saúde podemos encontrar aplicações para monitoramento do estado de saúde de um paciente, facilitando a tomada de decisão dos médicos, fisioterapeutas, enfermeiros e demais profissionais desta área.

As RSSF são compostas em sua maioria por pontos de coleta e transmissão chamados nós sensores (*sensor nodes*), cujos recursos de energia para funcionamento, velocidade de transmissão e processamento possuem suas limitações. Estes sensores, por sua vez, se conectam, sem fio, a outros nós chamados de sorvedouros (*sink*) ou Estações Rádio Base (*ERBs*). Souza (2011) conceitua que os dados obtidos e processados pelos nós sensores são encaminhados até uma estação central de agrupamento e tratamento dos dados (em algumas aplicações o nó sorvedouro é parte integrante da estação de controle). A estação de controle (ou estação central) deve ter a capacidade de manipular os dados encaminhados pelos nós sensores e executar tarefas de gerenciamento e controle. As tarefas de condução dos dados à estação central são operacionalizadas por algoritmos de roteamento, que são aplicados de acordo com a estrutura da rede.

Os nós sensores podem ser alimentados por baterias, pilhas ou mesmo por placas fotovoltaicas, buscando estender a sua autonomia de funcionamento.

O poder das redes de sensores sem fio reside na habilidade de agregar um grande número de pequenos sensores que se organizam e se configuram independentemente. Uma dada área pode ser facilmente monitorada por centenas de sensores que automaticamente formam uma rede de interconexão sem fio e informam os dados sendo colhidos (SILVA, 2010).

### 3.5 Redes veiculares

Ações de monitoramento pressupõem medidas consecutivas e ostensivas que ocorrem em vários pontos de uma região. Para atender às solicitações de monitoramento multiponto, a adoção de redes veiculares apresenta-se como um instrumento de potencial solução, Redes Veiculares são redes cujos atores são, basicamente, os veículos automotores. Cada veículo faz o papel de um computador, captando e disseminando informações. Faz parte também dessas redes equipamentos do tipo Access Point (AP), que podem ser instalados às margens das ruas ou de estradas, para receber e retransmitir as informações advindas dos veículos e da Central de Computação para esses mesmos atores.

Segundo Alves (2009), os veículos automotores vêm incorporando diferentes avanços tecnológicos que melhoram a experiência do condutor e dos passageiros. Alguns exemplos são a utilização de sistemas inteligentes de frenagem, sensores capazes de detectar obstáculos e que advertem o condutor da proximidade de veículos, alarmes de velocidade acima do permitido, dentre outros. Em geral, esses sistemas são baseados em sensores e atuadores cada vez mais sofisticados, que fazem com que o veículo possa detectar sinais no ambiente e informar ao condutor. Esses sistemas, entretanto, são atualmente restritos à interação entre o veículo e o condutor, priorizando os diversos aspectos de segurança e eficiência na condução veicular.

Santos et al. (2013) experimentaram uma rede de sensores sem fio, hospedados em veículos de transporte público coletivo em São Paulo - SP, para coletar informações ambientais pela região onde trafegam. Foram propostos modelos de uso, com simulação de padrões de mobilidade realísticos de um corredor de ônibus na capital paulista.

Para que as redes veiculares possam ser viabilizadas em larga escala, é fundamental que a tecnologia em redes de computadores continue a evoluir para buscar soluções a uma série de desafios inerentes a esta proposta de rede, tais como a alta mobilidade dos nós de uma rede veicular, o dinamismo dos cenários, a robustez

de conectividade durante a transmissão dos dados e o tempo reduzido em que dois nós permanecem em contato.

Karagiannis et al. (2011) enfatizam que redes veiculares são uma das mais importantes tecnologias que permitem implementar uma infinidade de aplicações relacionadas a veículos, ao tráfego de veículos e à interação de motoristas, passageiros e pedestres. Estas aplicações são parte integrante de uma categoria de sistemas denominada Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) que visam agilizar a operação de veículos, gerenciar o tráfego de veículos, auxiliar os motoristas com informações sobre localização e segurança, melhores trajetos, bem como utilizar dados do meio ambiente para fomentar sistemas de controle ambientais em tempo real.

Ainda neste enfoque, Hartenstein e Laberteaux (2008), entendem que vários fatores levaram ao desenvolvimento de redes veiculares; dentre elas o engajamento dos fabricantes de veículos às tecnologias da informação para buscar soluções de segurança, redução da poluição ao meio ambiente e questões de conforto nos seus veículos e também o compromisso das diversas esferas de governos para adoção de tecnologias de redes sem fio para comunicação de veículos e entre veículos.

Neste trabalho foram efetuadas medições atmosféricas através de um veículo em movimento, com inspiração nas redes veiculares.

### **3.6 Cidades inteligentes e cidades sustentáveis**

O conceito de Cidade Inteligente combina vários aspectos que possibilitam o crescimento disciplinado e sustentável de uma localidade, visando o bem-estar de seus moradores e das futuras gerações. O uso da tecnologia é um desses aspectos. O termo surgiu na *World Foundation for Smart Communities*, que se baseia no desenvolvimento baseado nas tecnologias da informação e comunicação. Outro conceito vem do Instituto Californiano para Comunidades Inteligentes (2001): "Uma Comunidade Inteligente é uma comunidade que fez um esforço consciente para usar a

tecnologia da informação para transformar a vida e o trabalho dentro de seu território de forma significativa e fundamental, em vez de seguir uma forma incremental".

Ponderando sob a ótica de tecnologia da informação, o termo "Cidades Inteligentes" está relacionado à oferta de serviços de informação e comunicação para solucionar os problemas dos cidadãos em seus conglomerados urbanos, e possibilitar uma melhor gestão pública. Atualmente as cidades, independente do tamanho demográfico, enfrentam problemas em várias esferas da gestão pública como: trânsito, segurança, atendimento de emergência, monitoramento ambiental, saúde, educação e inclusão digital e social, dentre outros. Para dar suporte a essas soluções os diversos "dados urbanos" precisam ser coletados e disseminados através de infraestruturas de comunicação, que por sua vez exigem formas integradas, heterogêneas, e inteligentes de comunicação. Estruturas tecnológicas com instrumentação adequada para coletar informações sobre o ambiente permitem à gestão estabelecer uma visão global da cidade / região, com vistas à manutenção do bem-estar da população.

Ainda sobre o prisma da tecnologia da informação, Lemos (2013), descreve que assistimos a um acelerado e agressivo desenvolvimento de sistemas de geolocalização, acesso, consumo e distribuição de informação. Isso se deu principalmente com o advento da computação em nuvem (impulsionada pela popularização de *smartphones* e *tablets*), da expansão de formas de tratamento de dados – *Data Warehouse* e, mais recentemente, o chamado *Big Data* - e da comunicação entre os objetos - conhecida como Internet das Coisas ou IoT (*Internet Of Things*) - a qual é viabilizada por sensores e etiquetas.

Temos então uma sucessão de promissores acontecimentos que permeiam o conceito de cidades inteligentes. Lemos (2013) também cita o conceito de "cidadão inteligente" (*smart citizen*), no qual as pessoas também passam a ser produtoras de informação. Com o conhecimento acessível e mais próximo de suas atividades cotidianas, elas podem não apenas ter uma melhor percepção do espaço onde vivem, mas também propor soluções criativas e inovadoras para as suas cidades. Nesse novo quadro, é importante uma política efetiva de abertura de dados e estímulo ao cidadão, para que ele veja os celulares e as redes sociais como instrumentos políticos. As

idades inteligentes podem ajudar tanto o poder público a reconhecer problemas em tempo real, quanto o cidadão a produzir informações, auxiliando a mapear, discutir e enfrentar essas dificuldades. O conhecimento pode gerar ações políticas e soluções criativas se moradores forem informados — de forma detalhada e sistemática — sobre índices de poluição, níveis de ruído e problemas de trânsito ou de segurança pública de sua região, por exemplo.

Já sob a perspectiva das emissões de poluentes atmosféricos, como os veículos urbanos, Leite (2012) pondera que os automóveis não mudaram muito desde a sua invenção no início do século XX: são projetados para transportar várias pessoas, atingir altas velocidades e cobrir grandes distâncias. No entanto a maioria das viagens urbanas é realizada por uma ou duas pessoas, as distâncias percorridas são curtas e a velocidade média é baixa (em torno dos 20 Km/h). Acrescenta-se a esses dados a ocupação de imensos espaços reservados às áreas de estacionamento e a chamada pegada ecológica<sup>6</sup> necessária para a sua construção e uso, que é alta. O autor destaca:

As cidades do século XXI precisam de carros smart: pequenos, leves, econômicos, movidos a matriz energética limpa e de ciclo de vida contínuo [...]. Mais que isso: a tendência para o transporte individual nas grandes cidades do futuro (imediato) são carros compartilhados, sob demanda. (LEITE, 2012, p.169).

Ainda segundo Leite (2012), o termo Cidades Sustentáveis remete àquelas que adotam práticas eficientes voltadas para a melhoria da qualidade de vida da população. Indo além, ele afirma que as cidades sustentáveis são, necessariamente, compactas, afirmando que maiores densidades urbanas (de forma qualificada) representam menor consumo de energia *per capita*, desde que, logicamente, haja uma gestão urbana eficiente, que aperfeiçoe o uso das infraestruturas urbanas, promovendo maior sustentabilidade no uso misto do solo, dos recursos de energia, água e na redução da poluição. Este conceito vai de encontro à idéia de que o adensamento ocasiona

---

<sup>6</sup> Metodologia de contabilidade ambiental que avalia a pressão do consumo das populações humanas sobre os recursos naturais (Fonte:WWF.org.br). Traduz o impacto causado pelas atividades humanas (indústria, comércio, agricultura e transportes) no meio ambiente.

inicialmente mais dificuldade nos movimentos urbanos. A imagem de ideal de vida, preconizada por bairros estendidos, com grandes áreas espraiadas e com baixa densidade populacional fica em contraponto ao conceito de cidades sustentáveis.

Tomando como referência este trabalho e indo além do escopo da pesquisa, vislumbramos a proposição de um mecanismo de agregação de funções que forneça resultados para tomada de decisão, bem como, por conseguinte, possibilitar o compartilhamento de dados ambientais com sistemas voltados para a mobilidade urbana, como por exemplo, sistemas informatizados de carona solidária.

### **3.7 Métodos estatísticos**

Esta sub-seção descreve os diversos postulados da área estatística, utilizados neste trabalho, envolvendo um subconjunto dos valores amostrais obtidos nas coletas.

#### **3.7.1 Regressão Linear Simples e Múltipla**

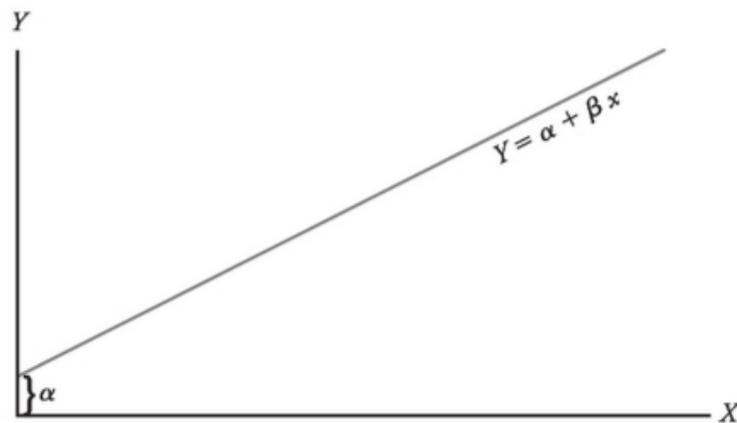
Com constância os pesquisadores são convidados a buscar soluções que envolvem relação entre variáveis. Por exemplo, em se tratando da qualidade do ar, percebe-se que os níveis de concentração de monóxido de carbono de uma região podem estar relacionados com a quantidade de veículos automotores que circulam no seu entorno. Será de interesse para a sociedade em geral desenvolver um método de predição, isto é, um procedimento matemático para estimar o nível de concentração do elemento poluente citado acima de acordo com determinados números de veículos circulantes. Assim, procura-se nestas situações estabelecer um modelo matemático que descreva e explique os fenômenos que ocorrem no mundo, com uma aproximação aceitável.

Neste exemplo, o número de veículos circulantes (ou outras grandezas naturais ou antrópicas que podem influenciar a qualidade do ar, como velocidade dos ventos, temperatura do ar, pressão atmosférica, radiação solar, umidade relativa do ar, dentre

outras) são chamadas de *variáveis independentes* ou *regressores naturais*. O nível de concentração de monóxido de carbono é definido como *variável dependente* ou *resposta natural* nesse cenário.

De acordo com Walpole et al. (2009), uma forma razoável de relação entre uma resposta  $Y$  (nível de monóxido de carbono, no exemplo) e um regressor  $x$  (número de veículos, no exemplo) é a relação  $Y = \alpha + \beta x$  linear, onde  $\alpha$  é o *intercepto* (representa o ponto em que a reta regressora corta o eixo dos valores de  $Y$  quando  $x=0$ ) e  $\beta$  a inclinação da representação da reta regressora (Figura 3). Se a relação for exata, trata-se então de uma relação determinística entre as duas variáveis, não havendo componentes aleatórios nela. Contudo, no exemplo citado e em outros fenômenos científicos, a relação não é determinística, sendo probabilísticos em sua natureza e não apresentando exatidão nesta relação. Ainda citando Walpole et al. (2009), o conceito de *análise de regressão* tenta encontrar a melhor relação entre  $Y$  e  $x$  quantificando a força dessa relação e usando métodos que permitam a previsão de valores de  $Y$  a partir de valores dados de  $x$ .

**Figura 3 – Ilustração de uma relação linear**



Fonte: Walpole et al. (2009)

A complexidade de muitos fenômenos que afetam o nível de monóxido de carbono no ar pode ser de tal ordem que, para que se possa prever uma resposta, será preciso a utilização de vários regressores (mais de uma variável independente) que

poderiam ser, além da quantidade de veículos, a temperatura do ar, a pressão atmosférica, o nível de insolação na região ou outras grandezas naturais ou antrópicas. Esta análise é chamada de *regressão múltipla*. Quando esse modelo é linear nos coeficientes, ele é chamado de *modelo de regressão linear múltipla*.

Como nas análises de regressão as relações são restritas a não serem determinísticas, há um componente aleatório que compõe o modelo de equação. Este componente, conhecido como *erro aleatório* ou *resíduo*, não é medido e não pode ser entendido pelos pesquisadores. Num modelo de regressão linear múltipla, o modelo é representado a seguir:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \varepsilon_i \quad , \text{ onde:}$$

$Y_i$  é a variável dependente

$X_{1i}$  e  $X_{2i}$  são as variáveis independentes

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são parâmetros do modelo matemático

$\varepsilon_i$  é o erro aleatório

Para estimar os parâmetros da regressão, utiliza-se o método dos mínimos quadrados, que consiste na minimização da soma de quadrados dos desvios (erros). Na prática, graficamente esses valores poderiam ser determinados simplesmente locando-se no plano cartesiano os N pontos  $(X_i, Y_i)$ , e posteriormente passando-se uma reta por esses pontos, tal que a distância entre os pontos dessa reta  $Y_i$  e os observados  $Y_i$ , ou seja, os erros, seja em média os menores possíveis (SILVA e SILVA, 2002).

Para verificar a adequação do modelo aos dados, algumas técnicas podem ser utilizadas. A *Análise de Variância da Regressão* é uma das mais usadas. Assim, podemos analisar a adequação do modelo por esta técnica, a qual é geralmente apresentada como na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2 – Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para análise de regressões**

Fonte de	Graus de	Soma dos	Quadrado	F	p-valor
----------	----------	----------	----------	---	---------

Varição (FV)	Liberdade (GL)	Quadrados (SQ)	Médio (QM)	
Regressão	p-1	SQreg	SQreg / p-1	QMreg/QMres
Resíduos	n-p	SQres	SQres / n-p	
Total	n-1	SQtotal	SQtotal / n-1	

Fonte: o Autor

Onde:

SQreg - Soma dos quadrados dos desvios estimados em torno da média

SQres - Soma dos quadrados dos desvios entre os valores reais e os estimados

SQtotal - Soma dos quadrados dos desvios dos valores reais em torno da média

p – número de variáveis do modelo

n – número de observações (ou amostras)

F – Relação entre QM da regressão e QM dos resíduos

Após a obtenção de F (nível de significância calculado), é utilizada a tabela de distribuição de Fisher-Snedecor ou tabela de distribuição F (vide Apêndices C e D) para a obtenção de um valor que, caso seja inferior ao nível de significância estabelecido, considera-se a análise de regressão como significativa. Ainda segundo Silva e Silva (2002), a distribuição F é usada nas situações de amostras, para se efetuar inferências sobre as variâncias populacionais. É chamada também de *distribuição da razão das variâncias* e por isso é utilizada sobre resultados de análise de variância de amostras.

### 3.7.2 Notação Matricial

Segundo DOMINGUES (2010), O modelo de regressão linear múltipla citado pode ser representado na seguinte forma matricial:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_0 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_0 \\ \vdots \\ \varepsilon_p \end{bmatrix}$$

Ou ainda

$$\begin{matrix} \mathbf{y} & = & \mathbf{X} & \cdot & \boldsymbol{\beta} & + & \boldsymbol{\varepsilon} \\ (n \times 1) & & (n \times (p+1)) & & ((p+1) \times 1) & & (n \times 1) \end{matrix}$$

Em notação matricial, as suposições sobre as propriedades dos erros  $\varepsilon$  do modelo (necessárias)

$$E(\varepsilon_i) = 0; \quad \text{Var}(\varepsilon_i) = \sigma^2 \text{ é constante}; \quad \text{Cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_k) = 0, i \neq k.$$

Tornam-se

$$E(\boldsymbol{\varepsilon}) = \mathbf{0}; \quad \text{Cov}(\boldsymbol{\varepsilon}) = \sigma^2 \mathbf{I}.$$

A primeira coluna da matriz  $X$  possui todos os valores iguais a 1 (um), representando o vetor multiplicador do coeficiente  $\beta_0$ , também, chamado de intercepto. Cada valor observado  $x_{ij}$  de  $X$  representa a  $i$ -ésima observação da variável explicativa  $x_j$ . O vetor de erros  $\varepsilon$  tem média zero, variância  $\sigma^2$  e são não-correlacionados.

Deseja-se encontrar o vetor  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$  de mínimos quadrados que minimiza a soma dos quadrados dos erros (SQE), definida em notação matricial por:

$$SQE(\boldsymbol{\beta}) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})$$

ou ainda

$$\begin{aligned} SQE(\boldsymbol{\beta}) &= \mathbf{y}^T \mathbf{y} = \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{y} - \mathbf{y}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \\ SQE(\boldsymbol{\beta}) &= \mathbf{y}^T \mathbf{y} = 2\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{y} + \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Considerando que  $\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{y}$  é um escalar e sua transposta  $(\boldsymbol{\beta}^T \mathbf{X}^T \mathbf{y})^T = \mathbf{y}^T \mathbf{X} \boldsymbol{\beta}$  é o mesmo escalar. Portanto, para encontrar os estimadores de mínimos quadrados, deve-se minimizar a Equação em (3.1) em relação a  $\boldsymbol{\beta}$  e resolver o sistema de equações lineares dadas por:

$$\frac{\partial SQE(\boldsymbol{\beta})}{\partial \boldsymbol{\beta}} = -2\mathbf{X}^T \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}} = 0 \quad (3.2)$$

Da equação (3.1) resulta

$$\mathbf{X}^T \mathbf{X} \hat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (3.3)$$

A equação (2.9) é conhecida como um conjunto de equações normais de mínimos quadrados e seus estimadores  $\hat{\mathbf{b}}$  podem ser encontrados aplicando aos dois lados da Equação (2.9) a inversa de  $\mathbf{X}^T \mathbf{X}$ , desde que ele exista.

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (3.4)$$

Desde que a matriz  $\mathbf{X}$  tem posto completo, então a matriz  $\mathbf{X}^T \mathbf{X}$  é inversível e a solução do sistema de equações normais é única.

O estimador de mínimos quadrados  $\hat{\mathbf{b}}$  em (3.4) minimiza a soma dos quadrados dos erros SQE sem fazer qualquer suposição quanto à sua distribuição de probabilidades. Contudo, para a construção de intervalos de confiança e testes de hipótese, é necessário supor que a distribuição condicional de  $y$  dado  $\mathbf{X}$  é normal. A média dessa distribuição é especificada por:

$$\mu = E(x | y) = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots + \beta_p x_p \quad (3.5)$$

E a variância é dado por:

$$\text{Var}(x|y) = \text{Var}(\beta + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots + \beta_p x_p + \varepsilon) = \sigma^2$$

O modelo de regressão linear ajustado para um determinado conjunto de observações  $x_i^T = [1; x_{i1}; x_{i2}; \dots; x_{ip}]$  é dado por:

$$\hat{y}_i = x_i^T \hat{\beta} = \hat{\beta}_0 + \sum_{j=1}^p \hat{\beta}_j x_{ij}$$

## 4 METODOLOGIA

Visando validar uma plataforma de prototipagem eletrônica de pequeno porte (no caso a placa Arduino) configurada para receber a conexão de sensores ambientais, este trabalho foi pautado em uma pesquisa de campo exploratória, quantitativa e qualitativa, elencando-se as seguintes etapas para desenvolvimento do experimento: identificação das grandezas ambientais e aquisição dos sensores de baixo custo correspondentes, construção dos protótipos de sensoriamento (placas Arduino, sensores e programas de computador, para captação, coleta e armazenagem de dados ambientais), experimentos de campo para efetuar as capturas de dados ambientais, estudos para construção dos módulos remotos de sensores e verificação de correlações entre as variáveis capturadas com base em estudos estatísticos de análises de regressões lineares.

Convém observar que esta plataforma permite que toda a parte de software seja reproduzida na forma de *open source*, isto é, sem a necessidade de compra ou pagamento de direitos intelectuais, contribuindo assim para um dos propósitos do trabalho, que é o baixo custo de implementação. O ambiente Arduino foi projetado para pesquisadores iniciantes que não possuem experiência em eletrônica ou em desenvolvimento de software.

### 4.1 Identificação dos sensores ambientais utilizados no estudo

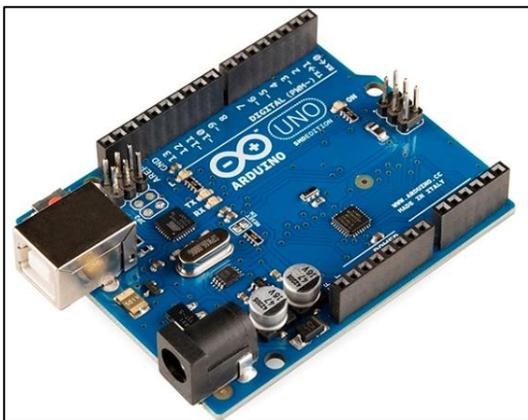
Como foco central do estudo adotou-se o sensor de Monóxido de Carbono, classe MQ-7, para ser a *célula mater* do trabalho pela importância deste elemento poluente na classificação da qualidade do ar, além da facilidade de sua aquisição. Outro sensor, classe DHT-11, parte integrante do Kit Arduino adquirido, que mede temperatura e umidade relativa do ar do ambiente, foi utilizado, uma vez que essas grandezas meteorológicas são de grande relevância para o monitoramento ambiental por interferirem no mecanismo de dispersão dos poluentes.

## 4.2 Construção dos protótipos de sensoriamento utilizando Arduino

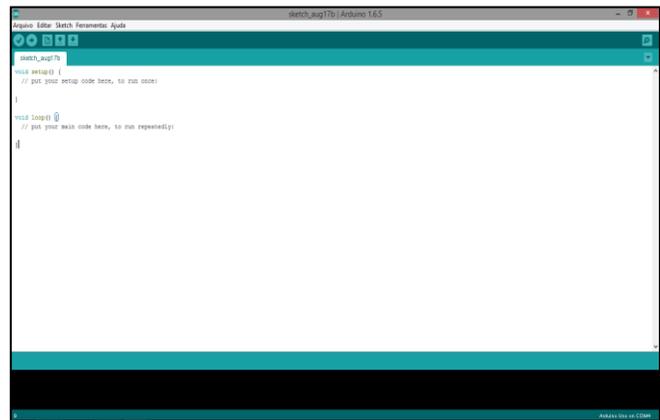
Dois protótipos multiplataforma para monitoramento ambiental foram projetados utilizando o ambiente Arduino, pois segundo a metodologia de Margolis (2012), esta placa microcontroladora se adequa à criação de protótipos que possam responder a eventos naturais, como controle de luminosidade, som, toque e movimentos.

Esta placa foi utilizada também por permitir várias outras vertentes da experimentação, inclusive a de uso de sensores, que se insere na categorização deste trabalho. Para dar mais produtividade aos programadores, o Arduino disponibiliza uma IDE<sup>7</sup> de fácil utilização (Figura 4 b).

Figura 4 – Placa controladora Arduino (a) e IDE correspondente (b)



(a)



(b)

Fonte: o Autor

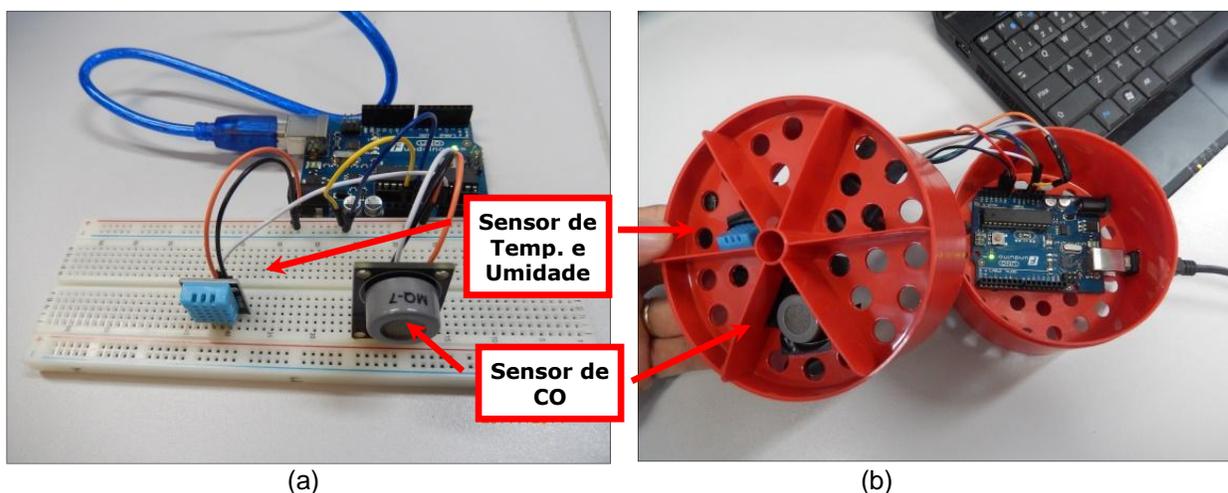
O elemento central do experimento, portanto, consiste no conjunto formado por esta placa microcontroladora, placas eletrônicas de suporte e sensores, conforme apresentado na Figura 5. Este conjunto de elementos foi denominado de **Módulo Captador**.

<sup>7</sup> IDE é a sigla para Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado). Trata-se basicamente de um editor de texto específico para a edição de programas em uma determinada linguagem de programação, visando dar mais produtividade aos desenvolvedores. São exemplos de recursos de produtividade: auto completar comandos, acusar erros de sintaxe em tempo real e sugerir correção de erros e distinguir, através de cores, as palavras-chave do código escrito.

Com o objetivo de protegê-lo das intempéries e ambientes hostis durante as medições externas, foi adaptado um recipiente com pequenos orifícios onde os elementos foram acoplados e afixados.

A construção do protótipo de captação dos dados atmosféricos aconteceu com o apoio do curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (TADS) do IFPE Campus Recife.

**Figura 5 - Módulo captador para uso em ambientes internos (a). Módulo captador para ambientes externos (b)**



Fonte: o Autor

Os sensores são então conectados à placa Arduino através de *jumpers*. Para possibilitar a transferência das informações coletadas nos sensores para o computador, utilizou-se um aplicativo (*software*) de aquisição de dados chamado PLX-DAQ, da empresa Parallax<sup>®</sup>. Trata-se de um grupo de instruções definidos como macro<sup>8</sup> Excel projetado para receber os dados do Arduino conectados aos sensores ambientais e exportá-los para uma planilha através da porta serial do computador, alimentando-a linha-a-linha com os valores coletados. A Figura 5 ilustra este aplicativo.

---

<sup>8</sup> Macros são instruções na forma de sub-rotinas, escritas na linguagem Visual Basic, que executam tarefas pré-programadas sobre o Excel. As macros normalmente são ativadas por um botão criado no próprio Excel.

Figura 6 – Painel Principal da macro PLX-DAQ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Time	NiveldeCO	Tempera tura	Umidade	ROW					
2	17:58:20	63,00	28	37	1					
3	18:55:08	61,00	28	38	2					
4	19:51:55	60,00	28	38	3					
5	20:48:43	59,00	28	39	4					
6	21:45:31	60,00	28	40	5					
7	22:42:19	59,00	28	41	6					
8	23:39:07	60,00	28	41	7					
9	00:35:55	60,00	27	41	8					
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										

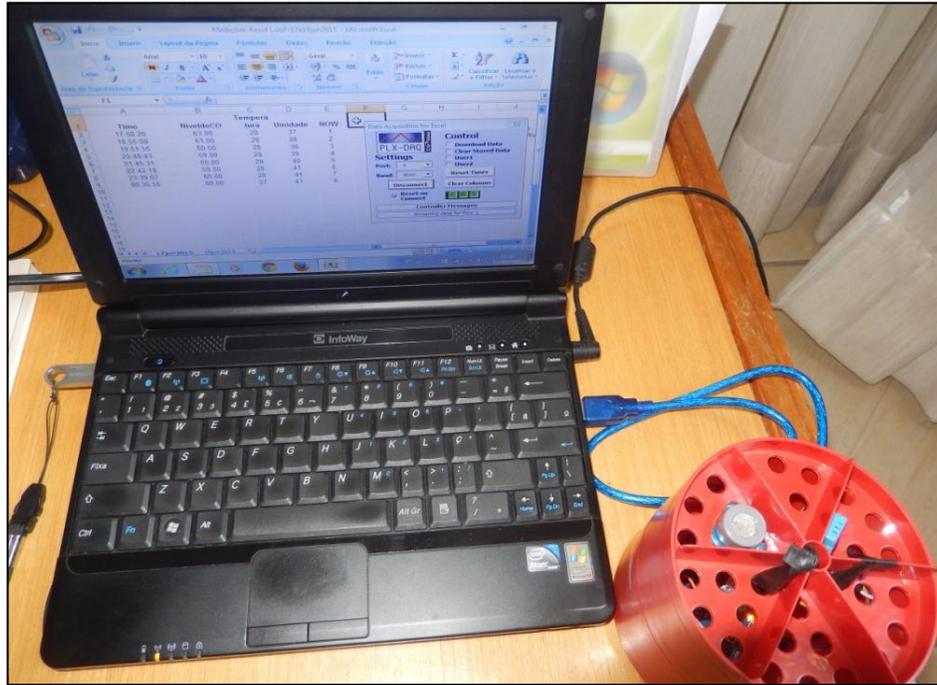
The control panel 'Data Acquisition for Excel' contains the following elements:

- Control:**  Download Data,  Clear Stored Data,  User1,  User2
- Settings:** Port: 4, Baud: 9600
- Buttons:** Disconnect, Reset Timer, Clear Columns
- Checkboxes:**  Reset on Connect
- Controller Messages:** Accepting data for Row 1

Fonte: o Autor

Para o escoamento dos dados coletados, o módulo captador foi conectado inicialmente em um computador portátil, tipo *netbook*, operando com o sistema operacional Windows 7<sup>®</sup>, sendo testado inicialmente no laboratório de informática do curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do IFPE (Figura 7).

**Figura 7 – PLX-DAQ em funcionamento na captura de dados atmosféricos**



Fonte: o Autor

### **4.3 Experimentos de campo para efetuar capturas de dados ambientais**

Com relação às capturas dos dados, foram realizados ao longo deste estudo, 18 experimentos de campo no período de março a setembro de 2015, sendo cada experimento composto por uma bateria de medições de valores de monóxido de carbono despejado na atmosfera, além de temperatura e umidade do ar. As baterias, juntas, totalizaram 416 medições, sendo que 79% das baterias efetuaram medições consecutivamente em intervalos de 15 minutos (Apêndice A). Priorizaram-se locais com potencial de criticidade em horários de intenso fluxo de veículos. Os locais elencados foram: via de acesso ao IFPE – Campus Recife, localizado na Cidade Universitária, Rua Monsenhor Ambrozino Leite, no bairro das Graças, e trecho da Avenida Agamenon Magalhães, nos bairros das Graças e Derby, todos situados na cidade do Recife – PE (Figura 8).

Nos dias 21 de agosto e 4 de setembro (ambos numa sexta-feira) outra derivação dos procedimentos de coleta foi efetuada, desta vez acoplado o módulo

captador em um veículo particular, circulando em regiões de intenso *rush* (período de 18 às 19:45 hs) na Avenida Agamenon Magalhães e no seu entorno. Esta região constitui-se numa das mais críticas da região metropolitana do Recife, em termos de fluxo de veículos. A prática desta observação está inspirada no conceito de redes veiculares. O módulo captador foi utilizado com o veículo em movimento, caracterizando uma simulação do trabalho de um “nó” da rede.

**Figura 8 – Locais de coleta dos dados ambientais na cidade do Recife: IFPE (A), Bairro das Graças (B) e trecho da Avenida Agamenon Magalhães (C)**



Fonte: Google Maps

As determinações dos teores de monóxido de carbono foram obtidas em conjugação com as condições atmosféricas (nebulosidade, velocidade dos ventos, ocorrência ou não de chuvas, etc.). Utilizou-se a técnica de amostragem aleatória simples. Segundo Silva e Silva (2002), fatores não controlados ou pouco controlados [...] como as variáveis climáticas, que em conjunto, alteram pouco ou muito os resultados, recebem a designação geral de variação do acaso, variação casual, ou variação aleatória. É também preconizado que um maior número de repetições permite

que haja maior precisão em estimativas determinadas. Segundo Correa (2003), uma amostra aleatória simples é um processo para selecionar amostras de tamanho “n” dentre as “N” unidades em que foi dividida a população. Esta técnica é a mais utilizada: Prática e eficaz, ela confere precisão ao processo de amostragem.

#### 4.3.1 Medições e análises dos dados

A captação dos dados atmosféricos para esta pesquisa, de fato, iniciou através da exposição do Módulo Captador nas áreas a serem estudadas. A primeira bateria de capturas foi realizada próximo à via de acesso ao IFPE, campus Recife, na Cidade Universitária – Recife, PE (Figura 9), onde historicamente há um fluxo moderado de veículos e maior intensidade nas horas de rush (das 07:30 às 9hs e 17 às 19:30hs) e nos horários de início dos turnos de aulas. As capturas ocorreram em diversos dias nos meses de março e abril de 2015, com pequenas variações, obtendo-se 268 coletas. Neste período encontramos sempre céu claro e pouca nebulosidade, sem ocorrência de chuvas ou ventos fortes.

**Figura 9 - Módulo Captador em funcionamento na guarita de segurança do IFPE**



Fonte: o Autor

A segunda bateria de medições foi efetuada no bairro das Graças, no Recife, no dia 25 de março e em outros dias dos meses de junho e agosto de 2015, nos horários

de rush e também em locais com situações de trânsito intenso, como na Avenida Agamenon Magalhães, entre 17 e 19 hs, Estes locais foram selecionados por apresentarem maior fluxo de veículos visando obter uma variabilidade dos números apresentados (principalmente pelo sensor de CO) em cenários cuja emissão de poluentes seja mais agressiva, com vistas a estabelecer comparativos de acordo com os diferentes fluxos de veículos e níveis de arborização e concretização da região. Também foram efetuados testes em situações críticas de degradação da qualidade do ar, com a exposição dos sensores bem próximos aos canos de escapamento de veículos.

#### **4.4 Cenários para transmissão e escoamento de dados**

Paralelamente às medições efetuadas foram criados cenários para o escoamento de dados, visto que a plataforma Arduino, segundo Hernandez e Kalil (2013), provê diversos recursos e várias possibilidades de aplicação em um cenário com redes de sensores, podendo atuar como um roteador ou *gateway* para conexão com uma base de dados ou um sistema de usuário, isto porque possui conectividade para redes.

As possibilidades de escoamento dos dados coletados são amplas, dentre as quais estão aquelas em que o aparelho sensor fica ligado a um modem, que transmite os dados à distância para um computador através de tecnologias de redes de conectividade móvel, como 3G ou 4G.

Dentre os estudos preliminares para estabelecimento de uma rede que possibilite a transmissão dos dados ambientais, encontraram-se algumas configurações distintas que seguem a linha proposta de baixo custo. Configuraram-se os seguintes cenários:

#### 4.4.1 Rede de captação Cliente-Servidor

Esta arquitetura baseia-se em computadores ligados às placas Arduino e esta aos sensores (Figura 10). Este conjunto faz o papel de estação cliente, que após capturar os dados ambientais, repassam-nas, através de uma rede *WiFi*, para um computador central (servidor). Para isso, foi utilizado o ambiente *NET Beans* e código Java para viabilizar a transferência dos dados do computador cliente para computador que fez o papel de servidor (Apêndice C).

**Figura 10 – Representação de uma rede de módulos captadores ligados a estações-cliente**



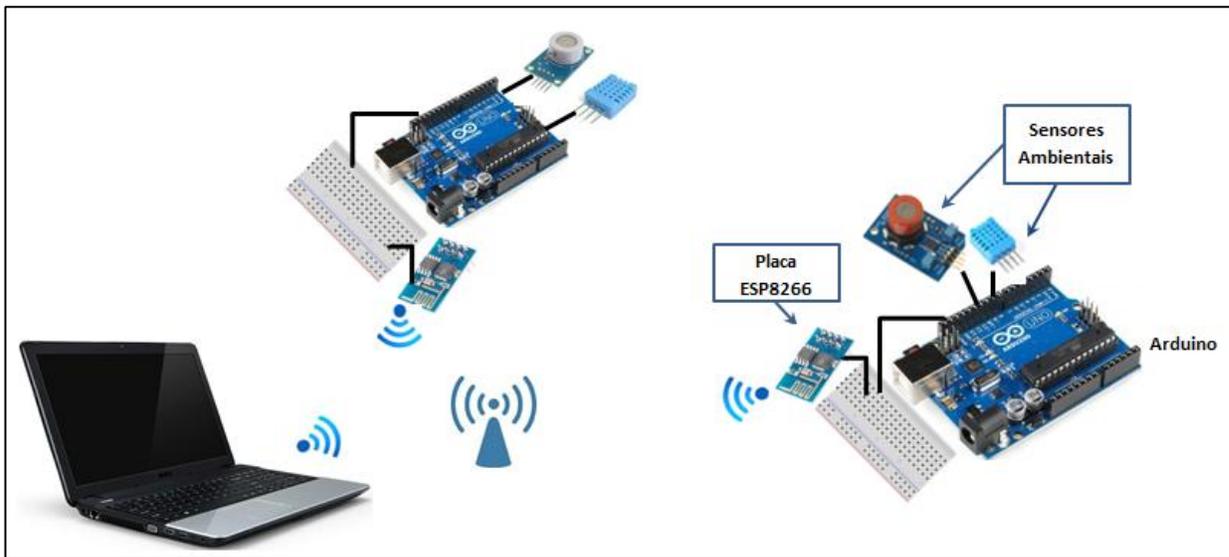
Fonte: o Autor

#### 4.4.2 Rede de captação Wifi com ESP8266

Esta arquitetura conta com a presença de uma placa microcontroladora de tamanho bem reduzido (2,5 x 1,5 cm), com antena embutida e de baixo custo,

conhecida como ESP8266, que utiliza o padrão IEEE 802.11<sup>9</sup> de transmissões sem-fio, largamente utilizada em redes de computadores. Com isso, apresenta-se como uma solução completa e independente de rede *Wi-Fi*, permitindo hospedar o aplicativo ou descarregar todas as funções de rede *Wi-Fi* a partir de outro processador de aplicação. No nosso estudo, a placa ESP8266 será conectada à placa Arduino no modo Estação (pode ser configurada para fazer a função de *Access Point*), para que os dados coletados pelos sensores sejam escoados para o Arduino que, por sua vez através da placa ESP8266, transmita-os para o computador, dispensando o uso de cabos (Figura 11). Na referida arquitetura, o computador pode desempenhar o papel tanto de nó da rede quanto de computador central.

**Figura 11 – Representação de uma rede de dados ambientais utilizando rede *Wi-Fi* através da placa ESP8266**



Fonte: o Autor

<sup>9</sup> Padrão que estabelece a criação e uso de redes de transmissão de dados sem fio (WiFi). Por se tratar de uma tecnologia de transmissão por radiofrequência, o [IEEE](http://www.ieee.org) (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) determinou que o padrão operasse no intervalo de frequências entre 2,4 GHz e 2,4835 GHz (Fonte: <http://www.infowester.com>).

#### 4.4.3 Rede de captação padrão Zigbee com placa CF430F6147

Nesta arquitetura de rede a configuração se aplica pela conexão física entre os sensores ambientais e placas microcontroladoras dotadas de dispositivos de radiofrequência e de softwares embarcados com o protocolo Zigbee<sup>10</sup>, dispensando a utilização da placa Arduino. Por sua vez, esses microcontroladores se encarregam de transmitir os dados ambientais (capturados pelos sensores) para um computador. O padrão Zigbee foi estudado em função do apelo desta tecnologia trabalhar com baixo consumo de energia e baixo custo.

Cada uma das placas microcontroladoras compõem um nó da rede e podem exercer três funções distintas: dispositivos finais, roteadores e coordenadores.

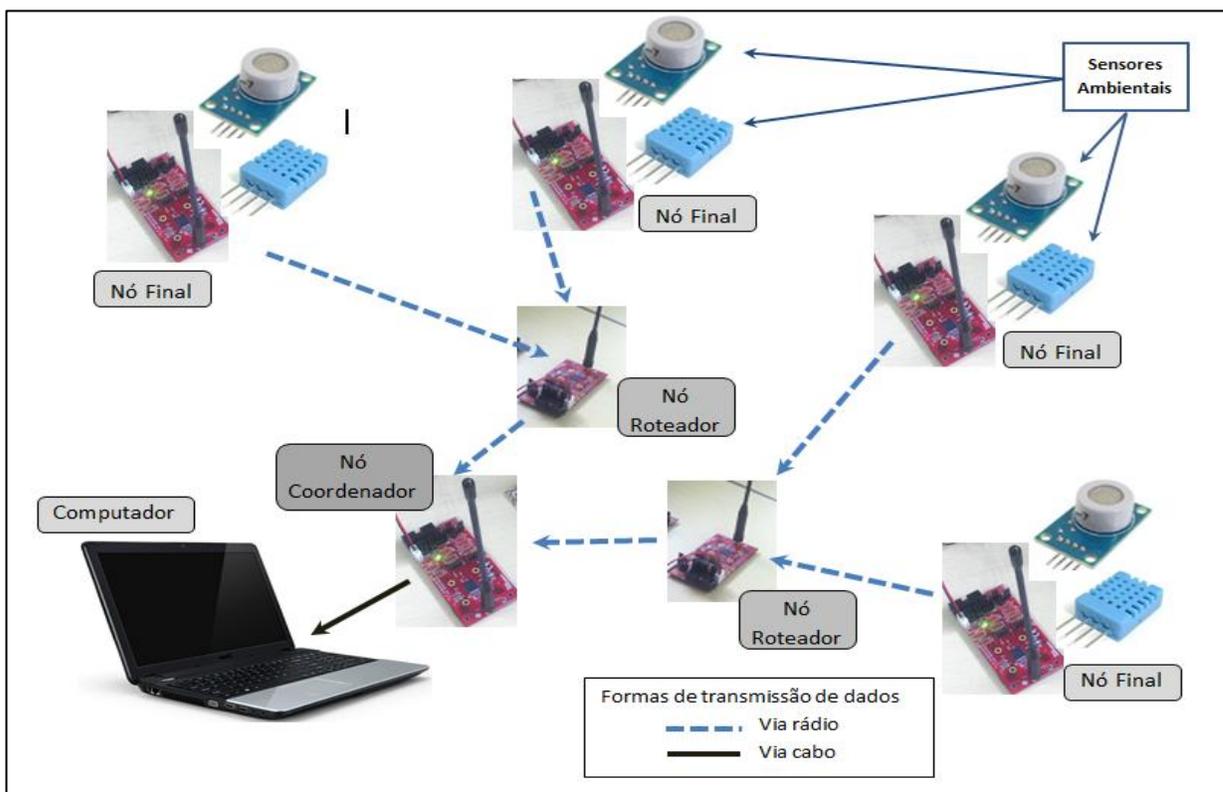
Na função de dispositivos finais, os microcontroladores se conectam a cada conjunto de sensores ambientais (de CO e de Temperatura e Umidade) e possuirão a capacidade de ler os sinais dos sensores e repassá-los para aqueles que exercem a função de roteador. Estes mantêm o fluxo de trajeto da informação até o módulo coordenador, que por sua vez sincroniza o processo de recebimento das informações dos diversos dispositivos finais, além de ser também o responsável pela transferência dos dados para armazenamento no computador (Figura 12).

Outra configuração pode ser construída com base na anterior, eliminando-se a figura do roteador. Esta é uma configuração a ser pesquisada neste trabalho, uma vez que foram disponibilizadas duas placas microcontroladoras CF430F6147 para pesquisa.

---

<sup>10</sup> Padrão de transmissão de dados projetado para permitir comunicação sem fio confiável, com baixas taxas de transmissão e baixo consumo de energia para aplicações de monitoramento e controle. Para implementar as camadas MAC (Medium Access Control) e PHY (Physical Layer) o ZigBee utiliza a definição 802.15.4 do IEEE, que opera em bandas de frequência livres (fonte: [www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br))

Figura 12 – Representação de uma rede de sensores usando tecnologia Zigbee



Fonte: o Autor

#### 4.5 Estudos estatísticos de análise de regressão linear

Foi realizado um ensaio estatístico utilizando modelos de regressão linear múltipla, para correlacionar a medida da concentração de CO em diferentes locais com outras variáveis como a temperatura, umidade relativa do ar e fluxo de veículos. Os dados utilizados para o ensaio foram obtidos nas últimas medições efetuadas numa mesma região (bairros das Graças e Derby).

O conjunto dos dados foi coletado no período de 17 a 21 de agosto de 2014, totalizando 20 amostras. Os parâmetros utilizados para compor o modelo ajustado envolveram as variáveis:

- Concentração de CO ( $Y$ ) = Variável dependente
- Temperatura ( $X_1$ ) = 1ª variável independente

- c) Umidade Relativa do Ar ( $X_2$ ) = 2ª Variável independente
- d) Fluxo de Veículos no local ( $X_3$ ) = 3ª Variável independente

Este ensaio contempla a obtenção de um modelo matemático ajustado para criar uma equação utilizando a teoria da regressão linear múltipla, na qual se busca relacionar uma variável dependente (Y) com variáveis independentes ( $X_i$ ), considerando a seguinte hipótese:

*“O nível de concentração de CO de uma localidade pode ser calculada em função da Temperatura do Ar, da sua Umidade Relativa e do Número de Carros que lá circulam?”*

Procura-se aqui relacionar o elemento Concentração de CO (Y = Variável dependente) com a temperatura do ar ( $X_1$  – 1ª variável independente), com a umidade relativa do ar ( $X_2$  – 2ª Variável independente) e também com o número de carros que circularam. ( $X_3$  – 3ª Variável independente). Transportando o questionamento para um modelo matemático, teríamos a seguinte proposta de modelo:

$$\widehat{\text{Conc. CO}}_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Temp}_i + \beta_2 \text{Umidi}_i + \beta_3 \text{NCarros}_i + \varepsilon_i$$

onde

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  são parâmetros do modelo matemático

$\varepsilon_i$  é o erro aleatório

Neste modelo de regressão o objetivo é estimar os parâmetros, obter valores estimados para a variável Y (dependente), bem como calcular intervalos de confiança para essas estimativas, com base na equação de regressão (o ajuste do modelo resulta em equação matemática).

Os cálculos foram efetuados utilizando-se o apoio do software Excel 2010. A planilha com o detalhamento geral dos mesmos encontra-se no Apêndice D deste documento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos tópicos seguintes, são apresentados os resultados referentes ao desenvolvimento e testes realizados com a plataforma de prototipagem eletrônica de pequeno porte e baixo custo para captura de dados ambientais considerando dados de qualidade do ar.

### 5.1 Resultados das capturas iniciais para verificação da calibração

Na Tabela 3 e na Figura 13 são apresentados os resultados referentes a um dos dias de coleta da primeira bateria de testes realizada logo após a construção dos protótipos.

Tabela 3 - Medições efetuadas no IFPE em 5 de março de 2015 (céu claro e pouca nebulosidade)

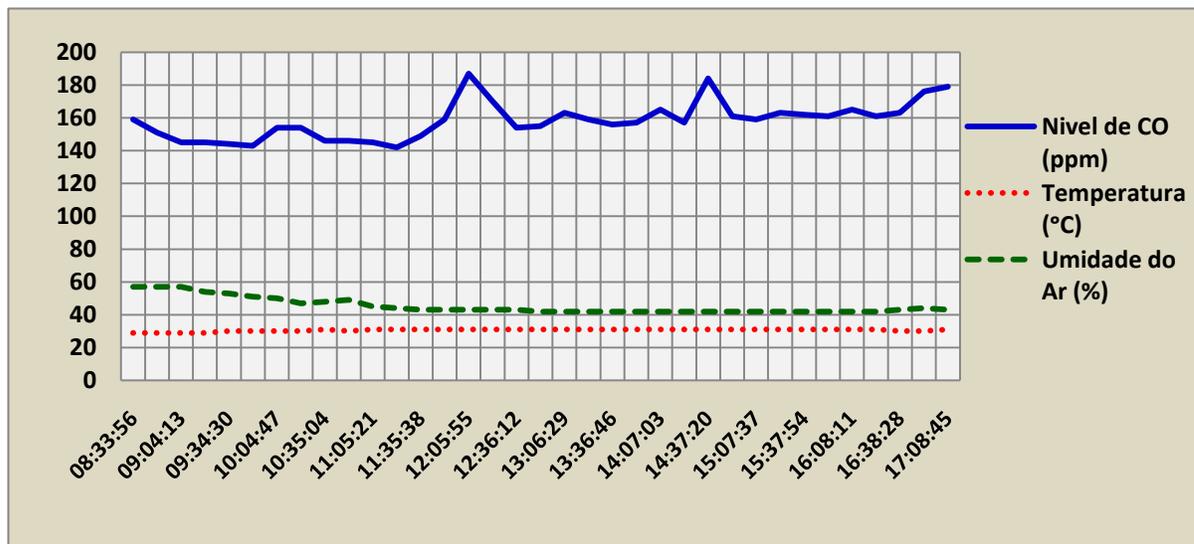
Horário	Nível de CO (ppm)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Medição	Horário	Nível de CO (ppm)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Medição
08:33:56	159	29	57	3	13:06:29	163	31	42	21
08:49:04	151	29	57	4	13:21:37	159	31	42	22
09:04:13	145	29	57	5	13:36:46	156	31	42	23
09:19:21	145	29	54	6	13:51:55	157	31	42	24
09:34:30	144	30	53	7	14:07:03	165	31	42	25
09:49:38	143	30	51	8	14:22:12	157	31	42	26
10:04:47	154	30	50	9	14:37:20	184	31	42	27
10:19:55	154	30	47	10	14:52:29	161	31	42	28
10:35:04	146	31	48	11	15:07:37	159	31	42	29
10:50:12	146	30	49	12	15:22:46	163	31	42	30
11:05:21	145	31	45	13	15:37:54	162	31	42	31
11:20:29	142	31	44	14	15:53:03	161	31	42	32
11:35:38	149	31	43	15	16:08:11	165	31	42	33
11:50:46	159	31	43	16	16:23:20	161	31	42	34
12:05:55	187	31	43	17	16:38:28	163	30	43	35
12:21:03	170	31	43	18	16:53:37	176	30	44	36
12:36:12	154	31	43	19	17:08:45	179	31	43	37
12:51:20	155	31	42	20					

Fonte: o Autor

As primeiras medições apontaram para valores extremamente altos para o elemento Monóxido de Carbono, em se tratando da unidade partes por milhão (ppm), com base na tabela de padrões de qualidade do ar adotados no Brasil, segundo a Resolução 003/1990 do CONAMA.

Identifica-se neste momento a necessidade de um maior conhecimento técnico do sensor para o quesito calibragem. Diante disto, as medições prosseguiram, para estabelecimento de um banco de dados numeroso que permitisse a busca de relações internas entre os dados ambientais e as demais variáveis (local e horário de coleta principalmente).

**Figura 13 – Representação gráfica das medições efetuadas no IFPE em 5 de março de 2015**



Fonte: o Autor

Numa análise inicial, reforçando a abstração de referências aos valores analíticos apresentados, constata-se um crescimento gradual do nível de CO (com temperatura e umidade relativa do ar praticamente constantes), na medida em que as horas vão decorrendo, o que pressupõe um possível acúmulo de partículas deste componente ao longo do dia, sem haver dissipação pelos agentes naturais. Percebe-se também um pico no valor de CO obtido perto das 12:50 hs, horário de início das aulas do turno da tarde. Este comportamento também foi identificado nos dias 9 e 12 de março. No dia 11 de março a curva de crescimento se apresentou menos gradativa.

Embora o fabricante informe que a faixa de abrangência do sensor de CO seja entre 10 e 1000 ppm, optou-se inicialmente em apresentar valores nominais dessas medições, uma vez que não havia como estabelecer comparativo com medições paralelas ou mesmo obter referenciais de outras medições de órgãos institucionais de estações de monitoramento próximas ao IFPE.

De fato, o local das captações apresenta fluxo moderado de veículos, salvo eventos pontuais (interrupções de vias, desvios). Além disso, a região possui grandes áreas arborizadas e, um pouco mais distantes, regiões de florestas e matas.

Na Tabela 4 e na Figura 14 encontram-se os resultados referentes a bateria de coletas realizada no bairro das Graças- Recife/ PE, tipicamente residencial, porém com grande fluxo de veículos . Nesta bateria de medições, foi incluída a variável Número de Veículos, visando relacioná-la às outras obtidas pelos sensores. A contagem foi efetuada considerando o número de carros que cruzavam a linha onde se encontrava instalado o módulo captador.

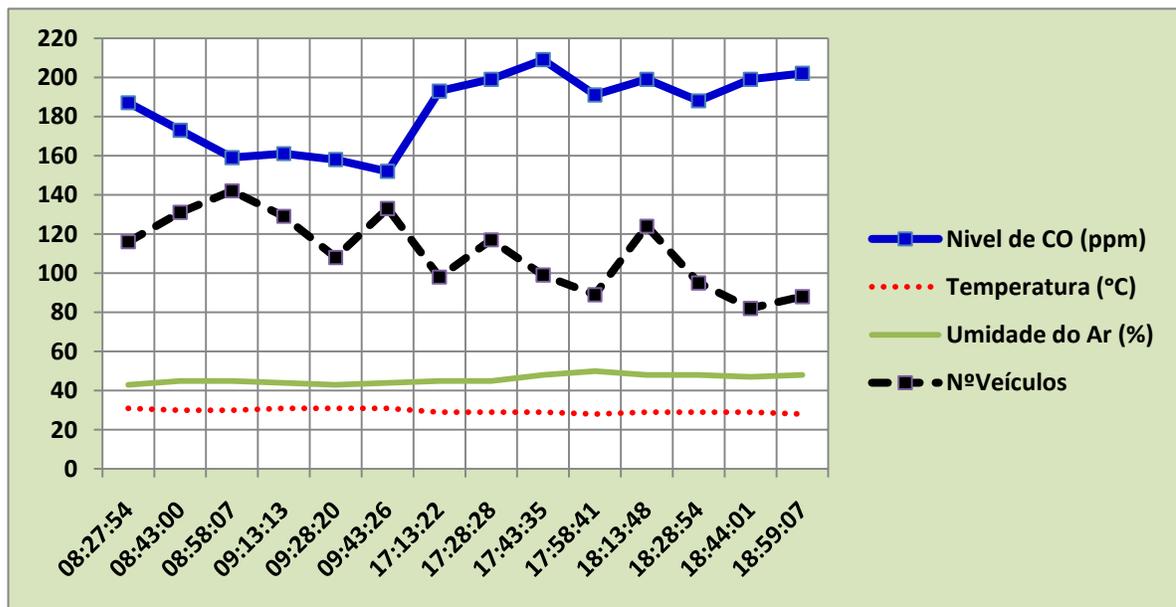
Tabela 4. Medições efetuadas no bairro das Graças, em 25 de março de 2015 (céu claro e pouca nebulosidade)

Horário	Nível de CO (ppm)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	N.Veículos	Tráfego	Medição
08:27:54	187	31	43	116	Pequenas retenções	3
08:43:00	173	30	45	131	Sem retenções	4
08:58:07	159	30	45	142	Sem retenções	5
09:13:13	161	31	44	129	Sem retenções	6
09:28:20	158	31	43	108	Sem retenções	7
09:43:26	152	31	44	133	Sem retenções	8
17:13:22	193	29	45	98	Sem retenções	9
17:28:28	199	29	45	117	Pequenas retenções	10
17:43:35	209	29	48	99	Pequenas retenções	11
17:58:41	191	28	50	89	Pequenas retenções	12
18:13:48	199	29	48	124	Pequenas retenções	13
18:28:54	188	29	48	95	Retenções	14
18:44:01	199	29	47	82	Retenções	15
18:59:07	202	28	48	88	Grande Retenção	16

Fonte: o Autor

Percebe-se de início que, nesta bateria, as medições a partir do *rush* do final de tarde apresentam índices de monóxido de carbono maiores do que os obtidos na parte da manhã; porém, de forma antagônica, o número de veículos que transitaram naquele período é menor. A justificativa plausível para este fato está na maior retenção de veículos observada a partir das 18 horas. Observada a maior retenção, os veículos permanecem mais tempo parados, mantendo a emissão constante de poluentes no mesmo local. De forma oposta, a passagem dos veículos sem a existência de retenção indica a emissão de poluentes de forma mais dissipada.

**Figura 14 – Representação gráfica das medições efetuadas em 25 de março de 2015 no bairro das Graças**

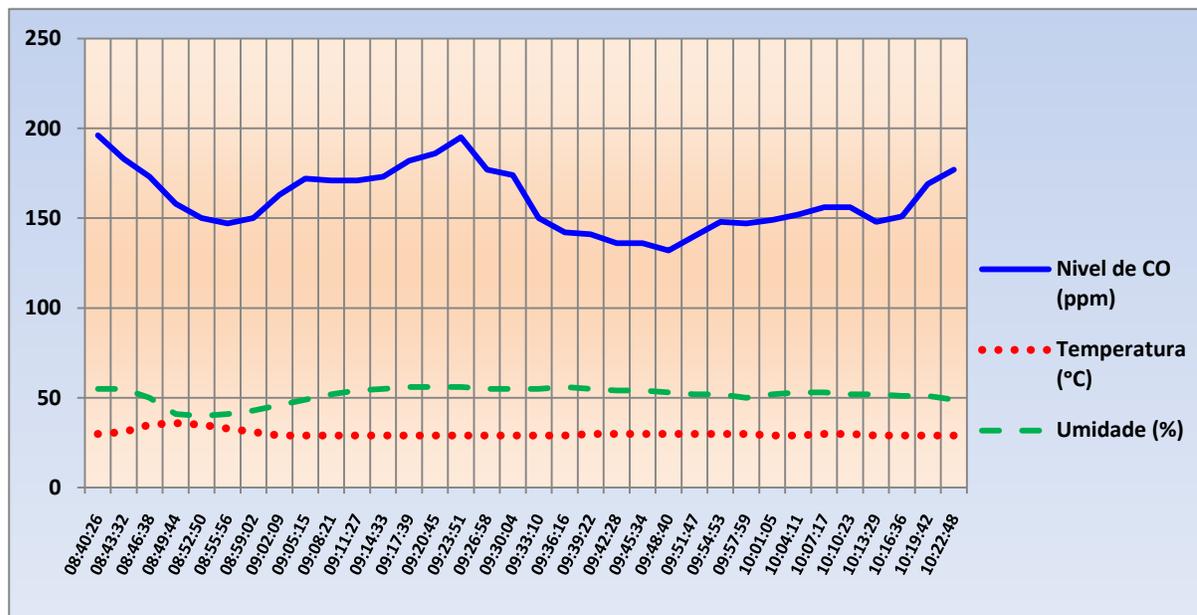


Fonte: o Autor

No dia 20 de março nova bateria de testes foi efetuada, considerando locais e condições de tempo opostos aos das mensurações efetuadas até então. Neste dia, com chuvas intensas na região de coleta, optou-se por um local mais interno do IFPE (quadra esportiva aberta), e também mais longe das vias urbanas. Com isso, a variável número de veículos não pode ser mensurada nas coletas. Alterou-se também o intervalo entre medições para três minutos. Os resultados obtidos não atenderam às expectativas de que as chuvas e os ventos moderados pudessem reduzir o nível de

concentração de CO naquele local. A Figura 15 apresenta os resultados referentes a esta medição.

**Figura 15 – Representação gráfica das medições efetuadas próximas a quadra de esportes do IFPE em 20 de março de 2015**



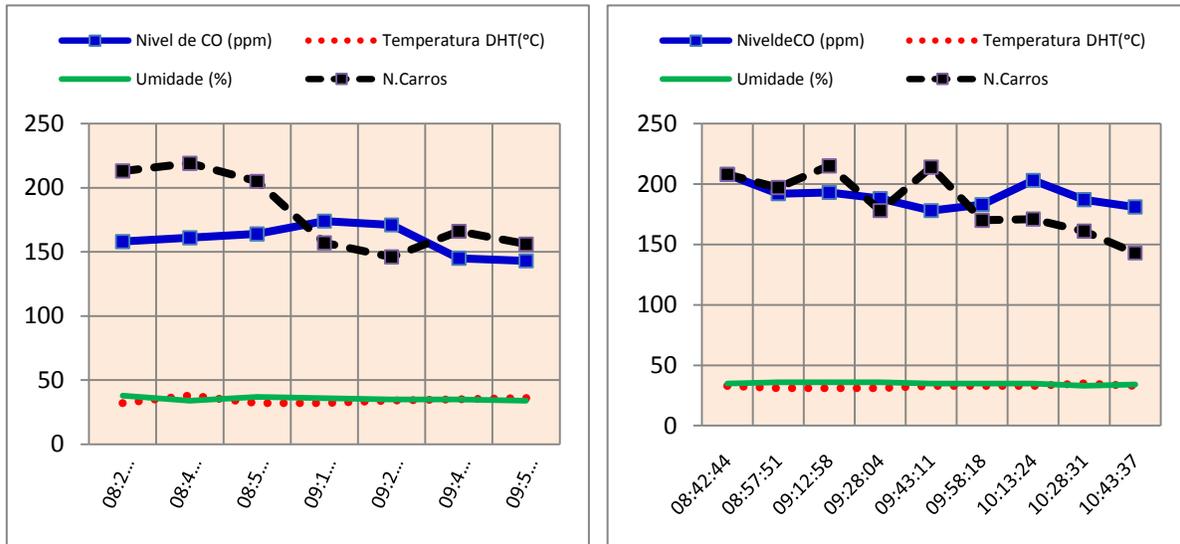
Fonte: o Autor

Em função dos valores apresentados para as medições de CO, considerando o aspecto de chuvas e ventos, além da distância das vias de veículos, maior do que as das outras baterias realizadas anteriormente, foi declinado o intervalo de 3 minutos para os próximos ensaios, mesmo com as informações da ficha técnica do sensor sugerirem um intervalo mínimo de 2,5 minutos entre uma medição e outra.

Outras séries de medições ocorreram nos dias 29 e 30 de abril de 2015, desta vez novamente próximo à via de acesso do IFPE, no período de 8 às 10 horas da manhã e restabelecendo o intervalo de 15 minutos entre as coletas. Em ambos os dias, o tempo estava igualmente com céu aberto e pouca nebulosidade. Aqui se mensurou também a variável número de veículos. Percebem-se nessas medições, com exceção pontual de uma ou outra coleta, discretos decréscimos de concentrações de CO na medida em que os horários de coleta distanciam-se das 7:30 horas, notoriamente horário de grande intensidade de fluxo de veículos. O número de veículos que

atravessam o sensor também decresce na mesma intensidade, salvo casos pontuais de acréscimo. A Figura 16 apresenta os gráficos com os valores coletados nesses dois dias.

**Figura 16 – Representação gráfica das medições efetuadas em 29 e 30 de abril de 2015, na grade externa do IFPE a 2 metros da via**



Fonte: o Autor

Para avaliação de funcionamento do protótipo neste estágio do experimento, estabeleceu-se o comparativo das capturas realizadas no IFPE, categorizando-as em dois cenários distintos:

- Cenário 1: a 10 metros da via (medições em 4, 5, 9, 11 e 12/março)
- Cenário 2: a 2 metros da via (medições em 13/março e 29 e 30/abril)

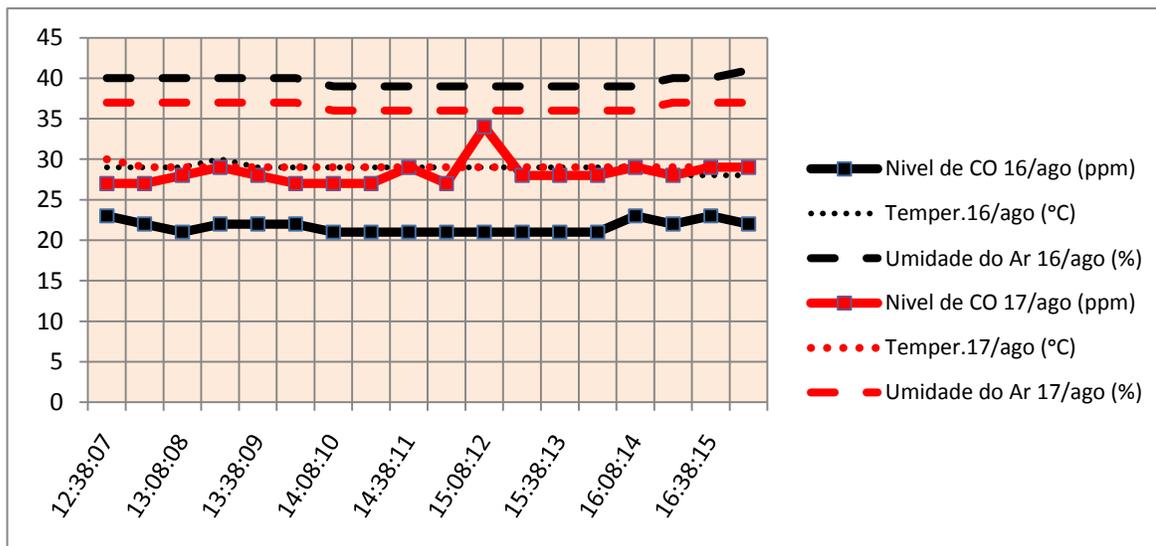
As condições de nebulosidade e temperatura eram semelhantes, ocorridos em dias úteis no período entre 8:00 e 9:45 hs, onde as intensidades do fluxo de veículos se situam em faixas equivalentes. Verificou-se que a média do nível de CO no cenário 2 aumentou cerca de 20,2% com relação ao cenário 1. Pode-se inicialmente concluir que o posicionamento dos sensores mais próximos das fontes emissoras de poluição reflete esta diferença;

## 5.2 Outras capturas

Continuando o foco nos resultados apresentados pelo sensor de CO, procuramos nesta etapa seguir a orientação de sua ficha técnica no que tange ao seu pré-aquecimento, que estabelece um período mínimo de 48 horas para a acurácia do sensor (Anexo A). Procedemos conforme as orientações técnicas e, com essa nova situação, efetuamos nova bateria de medições. Os novos resultados apontaram para a redução nos valores analíticos apurados pelo sensor de CO, mantendo-se os níveis de poluição do ar nos locais das medições anteriores. Ainda que bem menores, os novos valores obtidos continuam se apresentando altos, comparando-se com a tabela de padrões de qualidade do ar. Esta apresentação dos valores numéricos menores em escala comprova a assertiva do pré-aquecimento inicial (não foi encontrado na ficha técnica se este pré-aquecimento deve ser repetido no caso de longos períodos de inatividade do sensor de CO) e reforça a necessidade de um mecanismo de calibragem que seja eficaz para estes tipos de sensores.

Nos dias 16, 17 e 20 de agosto de 2015 foram efetuadas novas baterias de medições, desta vez voltando ao bairro das Graças. Nos dia 16 (um domingo) e 17 (uma segunda-feira), as medições foram efetuadas no intuito de estabelecermos uma base de valores para a qualidade do ar no interior de residências. Os sensores foram colocados na varanda de um apartamento e as capturas apresentaram números com variações importantes dentro de cada dia. Estabelecendo um comparativo das variáveis entre os dois dias analisados (as capturas comparadas foram entre 12:35 e 16:55 hs) constatou-se, no dia 17, uma elevação média de 30% do nível de CO com relação ao dia 16. Pode-se concluir que os níveis de CO apresentam comportamento conforme o esperado, pois em tese a segunda-feira, como dia útil, apresenta níveis de emissões de poluentes muito maiores do que a de um domingo, devido ao maior número de veículos circulando nas ruas. As temperaturas apresentaram-se praticamente as mesmas nos dois dias e a umidade do ar foi maior no dia 16. A Figura 17 apresenta os valores coletados nestes dois dias de captura de dados.

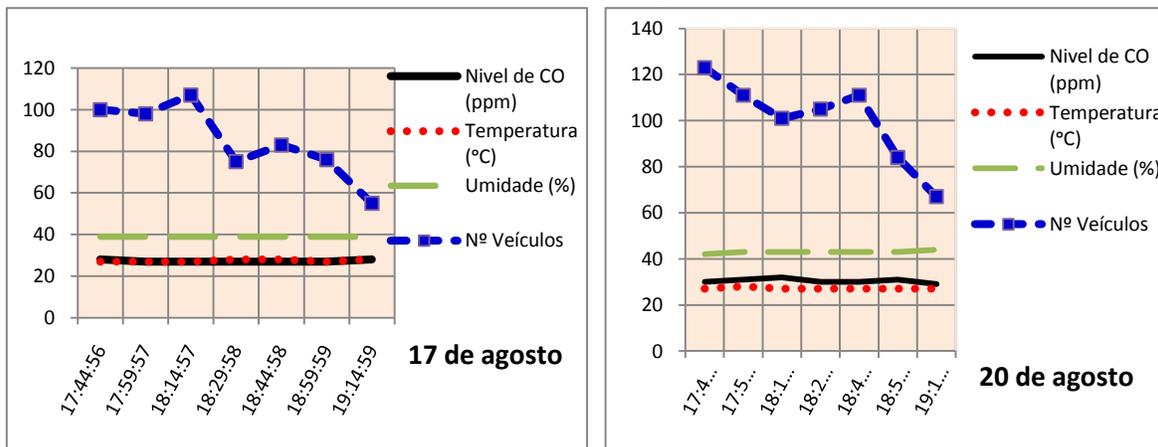
**Figura 17 – Representação gráfica das medições nos dias 16 e 17 de agosto de 2015, no bairro das Graças**



Fonte: o Autor

Outra comparação foi efetuada com os dados coletados nos dias 17 e 20 de agosto (segunda e quinta-feira respectivamente), em horários similares em momento de *rush* no mesmo local (desta vez próxima à via). Nestes dias, os valores de CO, temperatura e umidade do ar obtidos permaneceram no mesmo patamar, apresentando o mesmo comportamento ao longo do período estudado. O número de carros circulando na via não apresentou variações significativas (Figura 17).

**Figura 18 – Representação gráfica das medições nos dias 17 e 20 de agosto de 2015, no bairro das Graças**



Fonte: o Autor

No dia 21 de agosto (uma sexta-feira) outra derivação dos procedimentos de coleta foi efetuada, desta vez acoplado o módulo captador em um veículo particular, circulando em regiões de intenso *rush* (período de 18 às 19:45 hs) na Avenida Agamenon Magalhães (Vide mapa no Apêndice A) e no seu entorno. Esta região constitui-se numa das mais críticas da região metropolitana do Recife, em termos de fluxo de veículos. A prática desta observação está inspirada no conceito de redes veiculares explanado na seção 3.5. De fato, o módulo captador foi utilizado com o veículo em movimento (Figura 19), caracterizando uma simulação do trabalho de um “nó” da rede. Este evento então se torna inédito neste trabalho, uma vez que é incluído aqui o comportamento dos sensores em movimento.

Com as variáveis coletadas pudemos perceber que, com relação ao mesmo período em locais fixos (dias 16 e 17 do mesmo mês) e com condições de clima similares, os níveis de CO estiveram em média 10% maiores. Os valores de temperatura e umidade em média permaneceram semelhantes.

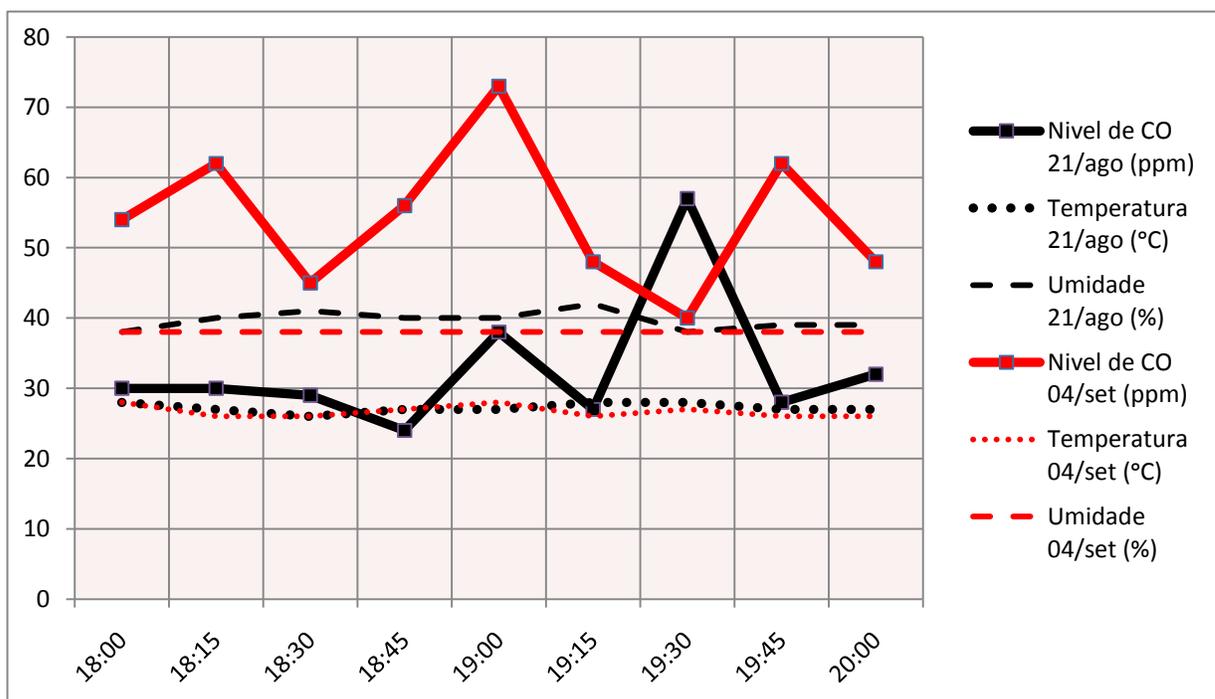
**Figura 19 – Módulo coletor acoplado a veículo**



(Fonte: Autor)

Para buscar uma resposta mais robusta na pesquisa e concluindo mais uma série de coletas, nova série foi repetida no dia 04 de setembro (também uma sexta-feira), porém esta se diferencia daquela devido ao feriado do dia 07 deste mesmo mês (uma segunda-feira), caracterizando o chamado “feriadão”. Diante deste evento, esperava-se um fluxo de veículos ainda mais intenso. A constatação visual da intensidade no fluxo de veículos foi perceptível e os resultados das coletas comprovaram esta tese, apresentando valores mais elevados ainda, para os valores de CO, com relação ao dia 21 de agosto (Figura 20).

**Figura 20 – Representação gráfica das medições nos dias 21/ago e 04/set de 2015, na Av. Agamenon Magalhães, nos bairros das Graças e Derby – Recife – PE**

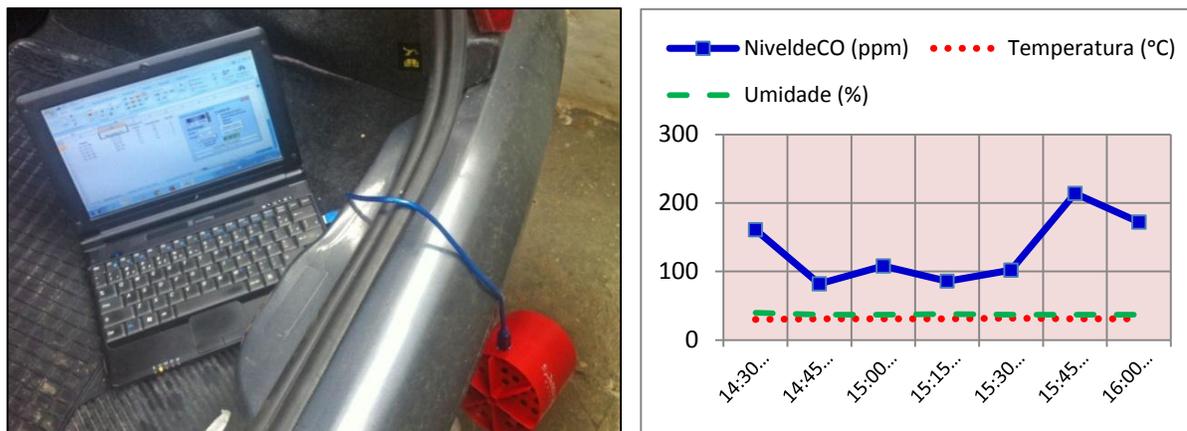


Fonte: o Autor

No intuito de sedimentar a confiabilidade e o quesito variabilidade quanto ao funcionamento do sensor de CO, criou-se um ambiente crítico de quadro de poluição do ar. O módulo captador foi colocado próximo ao escapamento de um veículo em funcionamento, durante um intervalo suficiente para a obtenção de algumas capturas de dados. Os resultados (Figura 21) mostraram que esta variabilidade é pertinente,

apresentando níveis de temperatura maiores e níveis de CO entre três e sete vezes maiores, comparando-se com os valores dos testes anteriormente apresentados.

**Figura 21 – Imagem e representação gráfica das medições próximas ao escapamento de veículo**



Fonte: o Autor

Todos os resultados apresentados reforçam a tese de que os sensores ambientais de baixo custo possuem sensibilidade suficiente para a aferição desta variável de qualidade do ar, apresentando resultados compatíveis com as situações urbanas a que foram submetidos.

### 5.3 Outros indicadores

Em todas as baterias de medições, as duas primeiras medições efetuadas logo após ligar o equipamento apresentavam valores discrepantes. Como isso ocorreu em cerca de 90% dos testes, optamos por descartar sistematicamente essas medições iniciais enviesadas em cada sessão de captação. Não foram encontradas nas fichas técnicas dos sensores nem na literatura nenhum texto sobre esse fenômeno.

## 5.4 Modelos matemáticos obtidos com os ensaios estatísticos

São apresentados a seguir os resultados dos ensaios estatísticos para construção dos modelos de regressão linear múltipla e obtenção de equações resultantes em função da amplitude dos dados ambientais.

### 5.4.1 Propostas de modelagem

Equação final sobre o primeiro modelo ajustado, sendo: Conc.CO (ppm); Temperatura do ar (°C); Umidade Relat.do Ar (%) e NCarros (unidades):

$$\hat{\text{Conc.CO}} = -16,937 + 0,597 \text{ Temp.} + 0,672 \text{ Umid} + 0,021 \text{ NCarros}$$

Para verificar se os fatores exercem alguma influência na variável dependente, efetuamos a Análise de Variância sobre os dados, obtendo os seguintes números:

Tabela 5 – Análise de Variância sobre as amostras com 3 variáveis independentes

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	3	33,68	11,23	<b>16,5167</b> **
Resíduo	16	10,87	0,68	
Total	19	44,55		

(Fonte: o Autor)

Buscando na Tabela de Distribuição F a 5% e a 1%, temos:

F Tabelado:

F (5%; 3; 16) = 3,24 menor que F calculado. Então, significativo a 5% (\*)

F (1%; 3; 16) = 5,29 menor que F calculado. Então, altamente significativo a 1% (\*\*)

Com esse resultado presume-se, inicialmente, que o modelo gerou uma equação que se ajusta aos dados analisados (convém observar que o modelo possui a

tendência de não se aplicar para temperaturas negativas, pois o resultado para a concentração de CO poderá também ser negativa, evento impossível de acontecer). No entanto é preciso analisar o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), que expressa a porcentagem do ajustamento explicado pelo modelo proposto:

$$r^2 = \frac{SQ \text{ Regressão}}{SQ \text{ Total}} \quad \therefore \quad r^2 = \frac{33,68}{44,55} \quad \therefore \quad r^2 = 75,6\%$$

Em seguida, calculamos o Coeficiente de Correlação ( $r_{xy}$ ), que mede o grau de relacionamento e dependência entre as variáveis independentes analisadas:

$$r_{xy} = \sqrt{r^2} \quad \therefore \quad r_{xy} = 86,9\%$$

Isto significa que 75,6% dos dados analisados se justificam pela equação, ao passo que em 24,4% dos dados podem estar ocorrendo em função de erros tais como: ineficiência do modelo adotado na tentativa de solucionar a problemática apresentada; o tamanho da amostra de dados analisados ou ainda algum erro sistemático que ocorre em condições fora da normalidade. Outra característica percebida durante essa análise inicial é quanto ao coeficiente de correlação, calculado acima ( $r_{xy} = 86,9\%$ ), que analisa um alto grau de dependência verificado entre as variáveis ditas independentes, tendo em vista que apenas 13,1% dos dados não tem alguma relação.

Diante dessa situação, foi estimado, em seguida, o grau de contribuição de cada variável independente, para ter-se uma ideia do grau de participação de cada uma na equação proposta. Para isso, é necessário calcular o Coeficiente de Correlação entre a variável dependente Y e cada uma das variáveis independentes:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad \therefore \quad r_{x1,y} = \frac{6,6}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_1^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}} = 0,17$$

$$r_{x2,y} = \frac{43,3}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_2^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}} = 0,79$$

$$r_{x3,y} = \frac{32,4}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_3^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}} = 0,04$$

Diante destes cálculos, conclui-se que a variável x3 (Número de Carros) é a que possui menor significância no modelo.

Repetimos os procedimentos de construção do modelo de regressão, desta vez eliminando esta variável (x3) do modelo matemático. Os resultados apresentam-se a seguir (omitindo-se o detalhamento apresentado na construção do primeiro modelo).

Equação final sobre o segundo modelo ajustado, sendo: Conc.CO (ppm); Temperatura do ar (°C) e Umidade Relativa do Ar (%):

$$\hat{\text{Conc.CO}} = -5,627 + 0,280 \text{ Temp} + 0,658 \text{ Umid}$$

Tabela 6 – Análise de variância sobre as amostras com 2 variáveis independentes

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	2	30,293	15,147	<b>18,0611</b> **
Resíduo	17	14,257	0,839	
Total	19	44,55		

Fonte: o Autor

Buscando novamente na Tabela de Distribuição F a 5% e a 1%, temos:

F Tabelado:

F (5%; 2; 17) = 3,59 Menor que F calculado. Então, significativo a 5% (\*)

F (1%; 2; 17) = 6,11 Menor que F calculado. Então, altamente significativo a 1% (\*\*)

Coeficiente de Determinação ( $r^2$ ): **68,0%** Coeficiente de Correlação (r): **82,5%**

Como nos cálculos envolvendo 3 variáveis, aqui 68% dos dados analisados se justificam pela equação e 32% dos dados podem estar ocorrendo em função de erros como ineficiência do modelo adotado na tentativa de solucionar a problemática apresentada; o tamanho da amostra de dados analisados ou ainda algum erro sistemático que ocorre em condições fora da normalidade.

Com relação ao coeficiente de correlação calculado, 82,5% indicam um alto grau de dependência verificado entre as variáveis independentes e 17,5 % dos dados não tem alguma relação.

Para constatar a pouca significância da variável Número de Carros no modelo, procedemos mais uma Análise de Variância a seguir, especificamente para esta variável.

Tabela 7 - Análise de variância sobre a contribuição da variável Número de Carros

Variáveis	FV	GL	SQ	QM	F
(x1,x2,x3) Regressão		3	33,675	11,225	16,516 **
(x1,x2) Regressão		2	30,293		
Contribuição		1	3,382	3,382	<b>4,977</b> n.s.
Resíduo		16	10,874	0,679	
Total		19	44,55		

Fonte: o Autor

A análise apresentou um valor maior a 5%, porém menor a 1% de significância, quando comparado à tabela de distribuição F, indicando significâncias distintas em cada um dos percentuais de significância.

Em algumas análises de regressão é comum a correlação entre variáveis independentes, quando segundo os requisitos da análise indicam que não deve haver correlação entre as variáveis independentes, situação muito difícil de ocorrer.

Neste caso específico o número de carros está sendo explicado pelas variáveis temperatura e umidade, uma vez que são correlacionadas.

#### 5.4.2 Resultados dos ensaios

Os ensaios permitiram concluir que, diante dos dados analisados e de acordo com a aplicação do modelo de regressão proposto, as equações geradas apresentaram, na melhor das situações, um ajuste de apenas 68% (utilizando duas

variáveis independentes) para esses dados, muito provavelmente devido a forte relação de dependência verificada entre as variáveis independentes propostas inicialmente, o que sugere a escolha de outras variáveis, com maior independência, na determinação de equações que melhor representem a incidência do nível de CO em um local específico.

Este estudo estatístico experimental procurou apresentar uma das diversas formas de análise dos dados ambientais coletados, utilizando-se os postulados da estatística experimental. A análise poderia prosseguir, por exemplo, eliminando-se mais uma variável independente, restando apenas uma das três e, assim, buscar um modelo de regressão linear simples, ou mesmo buscar a possibilidade de um modelo mais ajustado com todas as variáveis, utilizando regressão não linear múltipla intrinsecamente linear, considerando o mesmo questionamento, sendo necessário obter os logaritmos naturais de cada uma das variáveis coletadas. Outras possibilidades de estudo estatístico envolvem a busca de outras variáveis (velocidade dos ventos, por exemplo) ou mesmo a determinação de variáveis indicadoras (Por exemplo, retenção de veículos igual a 1, indicando Sim; igual a zero, indicando Não). O exercício de análises estatísticas se mostra interessante para o estudo, uma vez que existe uma vasta gama de variáveis envolvidas com a qualidade do ar.

## **5.5 Publicações**

Uma publicação, na forma de pôster, foi submetida e aprovada para apresentação no 7º Simpósio Brasil-Alemanha de Desenvolvimento Sustentável, a ser realizado na Universidade de Heidelberg, Alemanha, de 4 a 10/out/2015.

Artigos distintos sobre este trabalho que foram submetidos e estão em fase de avaliação pelas seguintes organizações:

- a) Revista Eixo: Publicação semestral de acesso aberto, de caráter multidisciplinar, publicado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília (IFB) desde 2012, para divulgação da produção técnico-científica de instituições

de ensino, pesquisa, extensão e desenvolvimento tecnológico. Submissão efetuada em 02 de junho de 2015, sob o número 257;

- b) X Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação (CONNEPI), de 30/nov a 3/dez/2015: evento promovido pela Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica e pela Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação, com o objetivo de difundir conhecimentos além das fronteiras acadêmicas, levando para o cotidiano dos brasileiros e dos setores de produção a aplicação das pesquisas desenvolvidas nos laboratórios das instituições de ensino que integram a Rede Federal. Submissão efetuada em 14 de agosto de 2015, sob o número 2566;

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A perspectiva de testes comparativos e ajustes nos equipamentos apontam para a viabilidade de uso do módulo captador como tecnologia de baixo custo para o monitoramento ambiental.

A proposta consiste no mecanismo de agregação de funções, como a ampliação da dinâmica da captação (a exemplo, de sensores de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$ ), a transmissão das informações de forma remota e o compartilhamento de dados ambientais com sistemas voltados para a mobilidade urbana (como por exemplo, sistemas informatizados de carona solidária).

Torna-se imperativo a utilização de infraestrutura de comunicação sem fio para o escoamento dos dados coletados. O baixo custo com baixo consumo de energia proporcionado pela plataforma de escoamento de dados CF430F6147 (padrão ZigBee) ou mesmo ESP8266 (Padrão *Wi-Fi*) apontará para este tipo de arquitetura para aplicações de monitoramento e controle.

A utilização de redes veiculares num futuro não muito distante também deve ser considerada, uma vez que este tipo de rede, ainda carente de robustez, tende a evoluir.

Outros sensores de elementos poluentes do ar podem ser acrescentados ao estudo, visando o monitoramento não só de grandes áreas urbanas externas, mas também em ambiente residencial.

A obtenção massiva dos dados atmosféricos possibilita a evolução deste estudo no sentido de construir, através de modelos estatísticos de regressão (linear/não linear, simples/múltiplos), equações que permitam estabelecer parâmetros de qualidade do ar a partir dos dados coletados e também de outras variáveis do meio, como por exemplo, localidades críticas, fluxo de veículos, ocorrência ou não de chuvas e velocidade dos ventos.

Os sensores de baixo-custo tornam-se realidade na medida em que aumentam sua precisão e confiabilidade a cada geração produzida. Os testes aqui produzidos revelaram que os sensores ambientais de baixo custo possuem potencial de confiabilidade suficiente para que os estudos prossigam na direção de suas utilizações

em áreas urbanas importantes que precisam receber a atenção devida por monitoramento. Processos de comparação de resultados com outros equipamentos (equiparação de dados, calibrações) são fundamentais e permitem que esta confiança aumente, tornando os processos viáveis sob o ponto de vista econômico. Ao mesmo tempo, a disseminação das opções de redes de comunicação sem-fio aponta para uma convergência desses dois segmentos, vislumbrando assim uma rápida evolução no segmento de monitoramento ambiental.

O controle da qualidade do ar nas cidades não tem recebido a prioridade adequada do poder público, possivelmente pelo custo e manutenção das estações de monitoramento. Este trabalho mostrou que é possível a utilização de uma plataforma de baixo custo, desde que sejam utilizados em conjunturas que não exijam a apresentação de resultados de altíssima precisão, mas que ao mesmo tempo não comprometam o resultado final de aferição com relação às faixas da qualidade estabelecidas no Brasil, sendo capaz de fornecer uma leitura em tempo real das microrregiões urbanas.

A obtenção ostensiva de informações do meio ambiente para o tratamento e tomada de decisão em grandes centros urbanos exemplifica-se como procedimento em potencial para que os governos passem a incluí-lo em suas políticas e, assim, aprimorar a sua gestão ambiental.

### **6.1 Ações para comparações de medições e calibragem**

Algumas frentes foram elencadas com o intuito de estabelecer possíveis comparativos entre os valores obtidos pelos protótipos e referenciais advindos de órgãos ambientais oficiais, notoriamente com boa carga de experiência em ações de monitoramento. Estabeleceu-se uma série de agendamentos de visitas a esses órgãos, procurando a obtenção de informações de procedimentos e técnicas de monitoramento e coleta de dados, variáveis trabalhadas, modelos matemáticos e equipamentos utilizados.

O Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, órgão que possui participação importante nas ações de previsão do tempo, repercutindo suas informações para todo o Brasil através de todos os tipos de mídias. Abrange o controle de grandezas do tempo e clima, como temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e regime de chuvas. Não há ações de monitoramento da qualidade do ar por este instituto.

Importante instituição estadual de controle hídrico, a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH - anteriormente conhecida por Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos, mantendo esta sigla) abrange o controle de qualidade da água em todas as suas formações. Atuou, há tempos atrás, em programas de monitoramento do ar. Contudo, muitas estações foram desativadas e atualmente atua em parceria com a SEMAS num programa experimental de monitoramento de CO<sub>2</sub> em duas locações na região do grande Recife (citado na seção 2 deste trabalho).

O Instituto Tecnológico de Pernambuco - ITEP é um centro de referência regional em pesquisa que oferece soluções tecnológicas para os diversos setores da *economia, promovendo a redução das desigualdades tecnológicas regionais e a inclusão social*, através da geração de novos empreendimentos, além da melhoria de competitividade tecnológica dos empreendimentos já existentes e dos arranjos produtivos locais. Da mesma forma que as instituições anteriores, o ITEP não possui um programa específico para o monitoramento da poluição do ar; porém conta com um experimento composto por uma estação de monitoramento de material particulado, além de equipamentos que medem a temperatura, umidade relativa do ar e regime de chuvas. Em visita a esse órgão, vislumbrou-se o estabelecimento de uma possível parceria entre este e o IFPE no sentido de prosseguir com as pesquisas sobre calibrações dos sensores e medições (citado na subseção 6.5 deste trabalho, mais adiante).

Outra importante instituição, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), órgão vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), trabalha com meteorologia utilizando satélites e redes de sensoriamento para clima, tempo e qualidade do ar. Seus sistemas computacionais permitem previsões

confiáveis para o nível de microrregiões, As previsões são geradas para até 15 dias, com 98% de acerto para as 48 h, chegando a 70% com cinco dias. Controla 11 Plataformas de Coleta de Dados (PCD) em Pernambuco, sendo uma na cidade do Recife. Os dados medidos nesta estação (bóia marítima) são a radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos, direção e velocidade de correntes marinhas, dentre outras. Não há medições de poluentes atmosféricos.

**Figura 22 – Mapa com localização dos PCDs na região Nordeste do Brasil (esquerda) e Exemplo de PCD (direita)**



(Fonte: CPTEC)

Órgão vinculado ao Ministério da Aeronáutica, o Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle do Tráfego Aéreo - CINDACTA trabalha com redes de informações meteorológicas, vital para a segurança das operações aéreas. Embora os avanços da tecnologia aeronáutica tenham tornado as viagens menos sensíveis a determinados aspectos do estado do tempo, a meteorologia continua a ser essencial para a eficiência das operações de voo. As grandezas medidas são a temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e velocidade dos ventos. Como em outras instituições, o monóxido de carbono não é monitorado por esta instituição na região nordeste.

Diante do quadro apresentado, onde é perceptível a dificuldade na obtenção de informações atmosféricas que respaldassem os dados obtidos por esta pesquisa,

optou-se nesta fase do trabalho por desviar o foco do quesito calibragem, no intuito de voltar a considerá-la nas próximas etapas desta pesquisa.

## **6.2 Outras ações para continuidade do projeto**

Em fase de planejamento a confecção de um Termo de Cooperação Técnica entre IFPE e o ITEP, visando facilitar o trabalho em conjunto para aferição e calibragem dos sensores ambientais, bem como o de aperfeiçoamento dos instrumentos de medições.

Após a aprovação deste documento, almeja-se a elaboração de um novo projeto visando estruturar uma equipe de pesquisa, com estudantes e professores nas áreas da informática, da eletrônica e das ciências ambientais, para desenvolvimento de modelos de rede de sensores sem fio (sempre com o apelo de baixos custos) que estejam aderentes ao contexto brasileiro para ações de monitoramento ambiental.

## 7 REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, I. F.; Su, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. **Wireless sensor networks: a survey**. Computer networks, 38(4), p. 393-422, 2002.

ALVES, Renan C. A.; MARGI, C.B.; SANTOS, F.C. L. dos; OLIVEIRA, B.T. de. **Redes de Sensores sem Fio Aplicadas à Fisioterapia: Implementação e Validação de um Sistema de Monitoramento de Amplitude de Movimento**. Universidade de São Paulo, 2013.

ALVES, Rafael do S.; CAMPBELL, Igor do V.; COUTO, Rodrigo de S.; CAMPISTA, Miguel Elias M.; MORAES, Igor M.; RUBINSTEIN, Marcelo G.; COSTA, Luís Henrique M. K.; DUARTE, Otto Carlos M. B.; ABDALLA, Michel. **Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios**. In Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores. Cap.5, pp.199–254. Rio de Janeiro, 2009.

BARCZAK, Rafael; DUARTE, Fábio. **Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras**. Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana. Curitiba: PUCPR, v. 4, n. 1, p. 13-32, jan/jun. 2012

BLUM, Jeremy. **Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry**. Ed. John Wiley & Sons, 2013. 384 p. ISBN: 1118549481, 9781118549483

BUTZKE, Alindo; PONTALTI, Sueli. **A Sustentabilidade Planetária in Instrumentos de Desenvolvimento e Sustentabilidade Urbana**. Adir Ubaldo Rech (org.). Caxias do Sul, RS: Educs, 2014. ISBN 978-85-7061-726-2.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historico>>. Acesso em 16 jun. 2015.

COELHO, Micheline. **Poluição e baixa umidade do ar aumentam risco de morte em idosos doentes**. Disponível em <<http://noticias.r7.com/saude/noticias/poluicao-e-umidade-do-ar-baixa-aumenta-risco-de-morte-em-idosos-doentes-20120826.html>>. Acesso em 22 ago. 2015.

CORREA, Sonia Maria Barros Barbosa. **Probabilidade e estatística**. 2ª edição. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p.

DOMINGUES, M.A.O. **Métodos Robustos em Regressão Linear para Dados Simbólicos do Tipo Intervalo**. Recife, 2010. 72f. Dissertação (Doutorado em Informática). Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

ESTADÃO. **O Mundo em Transformação – IPCC 2014**. Disponível em <http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral/ipcc-mundo-esta-pouco->

preparado-para-impactos-das-mudancas-climaticas,1147116. Acesso em 25 de agosto de 2014.

HARTENSTEIN, Hannes; LABERTEAUX, Kenneth P. **A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks**. IEEE Communications Magazine, June 2008.

HERNANDEZ, Helton Xavier; KALIL, Fahad. **Viabilidade da plataforma Arduino na prototipagem de redes de sensores sem fio**. XXV Salão de Iniciação Científica. UFRGS, 2013.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Qualidade do ar**. Disponível em <<http://www.energiaeambiente.org.br/index.php/conteudo/14>>. Acesso em 11 jun. 2015.

JORNAL DO COMMERCI0, 2015. **Recife mede índice de gás carbônico no ar em tempo real**. Disponível em <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/cidades/cienciamambiente/noticia/2015/06/14/recife-mede-indice-de-gas-carbonico-no-ar-em-tempo-real-185715.php>>. Acesso em 16 de junho de 2015.

KARAGIANNIS, Georgios; ALTINTAS, Onur; EKICI, Eylem; HEIJENK, Geert; JARUPAN, Boangoat; LIN, Kenneth; WEIL, Timothy. **Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions**. Communications Surveys & Tutorials, IEEE. Vol.13, 2011.

LEITE, Carlos; AWAD, Juliana di C. M. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LE MOS, André. **De que forma as novas tecnologias — como a computação em nuvem, o Big Data e a Internet das Coisas — podem melhorar a condição de vida nos espaços urbanos?** Revista GVExecutivo / Fundação Getúlio Vargas. Vol.12 nº 2. 2013. Disponível em <<http://rae.fgv.br/gv-executivo/vol12-num2-2013/cidades-inteligentes>>. Acesso em 26 jun. 2015.

LOUREIRO, Antonio. A. F.; NOGUEIRA, José Marcos S.; RUIZ, Linnyer B.; MINI, Raquel A. F.; NAKAMURA, Eduardo F.; FIGUEIREDO, Carlos Maurício S. **Redes de sensores sem fio**. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, pp. 179-226, 2003.

MARGOLIS, Michael. **Arduino Cookbook**. Second Edition. California: O'Reilly. 2012. ISBN 978-1-449-31387-6.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do ar**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em 02 set. 2015.

NOBRE, C.A.; YOUNG, A.F.; SALDIVA, P.; MARENGO, J.A.; NOBRE, A.D.; ALVES, S. JR.; SILVA, G.C.M. da, **Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças**

**Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo.** INPE, UNICAMP, USP, IPT e UNESP. São Paulo: 2010.

OLIVEIRA, Sonia Maria Barros de; CORDARI, Umberto Giuseppe; FAIRCHILD, Thomas Rich. Composição e estrutura vertical da atmosfera. In: TEIXEIRA, Wilson et al (Org.). **Decifrando a Terra.** 2ª Ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

RADOMSKY, G.; PEÑAFIEL, A. **Desenvolvimento e Sustentabilidade.** Curitiba: Intersaberes, 2013. ISBN 978-85-8212-736-0.

RANDERS, J. **Espero Estar Errado.** Guia Exame - Sustentabilidade. Nov. 2012. pp.90-94.

REUTERS. **Poluição em Santiago leva governo do Chile a declarar estado de emergência ambiental,** 2015. Disponível em <<http://br.reuters.com/article/worldNews/idBRKBN0P21BP20150622>>. Acesso em 29 de junho de 2015.

SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento: Incluyente, sustentável, sustentado.** Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SANTANA, E.; CUNHA, K.B.; FERREIRAQ, A.L.; ZAMBONI, A. **Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia.** São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA, 2012.

SANTOS, Alessandro Santiago; MARTE, Cláudio Luiz; YOSHIOKA, Leopoldo Rideki; CINTRA, Jorge Pimentel. **Estudo de Viabilidade do Uso de Rede de Sensores Integrada a Sistemas Inteligentes de Transportes para Monitoramento de Condições Ambientais,** Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em <[http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/273\\_AC.pdf](http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/273_AC.pdf)>. Acesso em 15 de julho de 2015.

SANTOS, Ivairton M.; DOTA, Mara A.; CUGNASCA, Carlos. E. **Visão Geral da aplicabilidade de redes de sensores sem fio no monitoramento agrícola no estado de Mato Grosso.** In Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP, Ribeirão Preto, SP. Set. 2010.

SEO, Emília Satoshi Miyamaru, LICCO, Eduardo Antonio, MARINO, Luciana Mara Ribeiro. **Reflexões sobre as mudanças climáticas na cidade de São Paulo.** INTERFACEHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade v6 nº2. 2011.

SILVA, Israel Pereira da, SILVA, José Antonio Aleixo da. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária.** Recife: UFRPE, 2002. 305p.

SILVA, Marcel S., FRUETT, F. **Rede de Sensores sem fio de Baixo Custo para monitoramento ambiental**. In *Congresso Brasileiro de Automática*, pp. 2351-2356, 2010.

SISINNO, C.L.S., TORRES, J.P.M. Avaliação Ambiental. In: SISINNO, C.L.S., FILHO, E.C.O. (Org.). **Princípios de Toxicologia Ambiental: Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. Cap. 7. 216 p, ISBN 978-85-7193-263-0.

SOUZA, Marcelo P.; LOPES, Waslon. T. A. **Desafios em Redes de Sensores Sem Fio**. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação - Instituto de Estudos Avançados em Comunicações. Vol.1, p.41-47, 2011.

STEINERT, K.; MAROM, R.; RICHARD, P.; VEIGA, G.; WITTERS, L. **Making Cities Smart and Sustainable**. In: The Global Innovation Index, 2011. p. 87-95.

SUAPE – Complexo Industrial Portuário de Pernambuco. **Suape abriga primeira Estação de Monitoramento do Ar de Pernambuco**. Disponível em <<http://www.suape.pe.gov.br/news/matLer.php?id=252>>. Acesso em 20 mar. 2015.

TEIXEIRA, W.O., SOARES, M.G., YEPES, I. **Estudo de Sensores de Temperatura e Umidade de Baixo Custo para Aplicação em Veículo Aéreo não Tripulado**. In *Computer on the Beach*, pp. 411-412, 2014.

UNITED NATIONS. **Report of the United Nations Conference on The Human Environment**, Stockholm, 5-16 June 1972. Disponível em <http://www.un-documents.net/aconf48-14r1.pdf>. Acesso em 19 ago. 2014.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**, 1987. Disponível em <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. Acesso em 11 ago. 2014.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision (Highlights)**, New York, 2014. p. 03.

WALPOLE, R.E.; MYERS, R.H.; MYERS, S.L.; YE, K. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. ISBN 978-85-7605-199-2.

## 8 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BATAGAN, Lorena. **Smart Cities and Sustainability Models**. Revista Informática Econômica Bucarest, Romênia. vol.15, nº 3, 2011.

CARDONA, Omar Dario. **Indicadores de vulnerabilidad y riesgo**. Revista Ambientico. Universidade Nacional da Costa Rica, dez. 2005. p. 21. Disponível em <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/147.pdf>. Acesso em 22 ago. 2015.

CARVALHO, Fabrício Braga S.; LEAL, Brauliro G.; FILHO, José Valentim dos S.; BAIOCCHI, Orlando R.; LOPES, Waslon T. A.; ALENCAR, Marcelo S. **Aplicações Ambientais de Redes de Sensores Sem Fio**. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, Vol.2, N.1. Out. 2012. pp.14-19.

CAVALCANTI, Paulina Maria Porto Silva. **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar – Abordagem Preventiva e Corretiva**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

ENCICLOPÉDIA ESCOLAR BRITANNICA. **Combustível Fóssil**. In Britannica Escola Online. Disponível em: <<http://escola.britannica.com.br/article/481311/combustivel-fossil>>. Acesso em 18 ago. 2015.

HERZOG, Ana Maria. **Espero estar errado**. Guia Exame – Sustentabilidade. P. 90-94. Nov. 2012.

IPCC, 2007. **Mudanças Climáticas: Impactos e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, Anexo I**. M.L. Parry, O.P. Canziani, J.P. Palutikot, P.J. van der Linden e C.E. Hanson, Eds., Imprensa da Universidade de Cambridge, Cambridge, UK, 2007. 976pp.

McROBERTS, Michael. **Beginning Arduino**. 2<sup>nd</sup> Edition. 424 p. Technologies In Action Series. Apress, 2013. ISBN: 143025016X, 978-14-3025-016-6.

OLIVEIRA, Alisson Carvalho; PORTEZANI, Carlos Henrique. **Transmissão de Parâmetros Ambientais Através da Tecnologia Sem Fio Zigbee**. 5<sup>o</sup> Encontro de Pesquisa e Extensão – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, 2014,

PNUMA / UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Rumo a uma Economia Verde. Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza – Síntese para Tomadores de Decisão**. 2011, ISBN: 978-92-807-3204-7. Disponível em <[http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/Green\\_Economy\\_Full\\_report\\_pt.pdf](http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/Green_Economy_Full_report_pt.pdf)>. Acesso em 28 de agosto de 2014.

STAVROPOULOS, Donatos, KAZDARIDIS Giannis, KORAKIS Thanasis, KATSAROS Dimitrios, TASSIULAS Leandros. **Demonstration of a Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication Network Featuring Heterogeneous Sensors and Delay Tolerant Network Capabilities.** In Testbeds and Research Infrastructure. Development of Networks and Communities. Springer Berlin Heidelberg. Greece, 2012. ISBN: 978-3-642-35575-2. pp. 403-405

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens.** Ciência Rural, 32(1), 2002. p.159-163.

WWF – World Wide Fund For Nature. **Relatório Planeta Vivo 2014.** Disponível em [http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/especiais/relatorio\\_planeta\\_vivo/](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/relatorio_planeta_vivo/). Acesso em 31 ago. 2015.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A – QUADRO-RESUMO DE MEDIÇÕES EFETUADAS NA PESQUISA – ANO: 2015**

DATA	LOCAL	DISTÂNCIA DA VIA	ALTURA	CONDIÇÕES DO TEMPO	INCLUI FLUXO DE VEÍCULOS	INTERVALO DE MEDIÇÕES	QTDE DE MEDIÇÕES
4/mar	IFPE - Guarita	10 m	2 m	Sol Claro	não	15 min	10
5/mar	IFPE - Guarita	10 m	2 m	Sol Claro	não	15 min	37
9/mar	IFPE - Guarita	10 m	2 m	Sol Claro	não	15 min	45
11/mar	IFPE - Guarita	10 m	2 m	Sol Claro	não	15 min	48
12/mar	IFPE - Guarita	10 m	2 m	Sol Claro	não	15 min	46
13/mar	IFPE - Calçada	2 m	0 m	Sol Claro	não	03 min	27
20/mar	IFPE – Quadra	100 m	0 m	Chuvoso	não	03 min	36
25/mar	Graças	2 m	1 m	Céu aberto	sim	15 min	16
29/abr	IFPE – Calçada	2 m	1 m	Sol Claro	sim	15 min	8
30/abr	IFPE – Calçada	2 m	1 m	Sol Claro	sim	15 min	11
17/jun	Graças	20 m	20 m	Céu aberto	não	56 min	8
18/jun	Graças	20 m	20 m	Céu aberto	não	56 min	15
16/ago	Graças	20 m	20 m	Céu aberto	não	15 min	42
17/ago	Graças	20 m	20 m	Céu aberto	não	15 min	20
17/ago	Graças	2 m	2 m	Céu aberto	sim	15 min	16
20/ago	Graças	2 m	2 m	Céu aberto	sim	15 min	8
21/ago	Graças / Derby	0 m	1 m	Céu aberto	sim	15 min	9
24/ago	Torre	Escape	0 m	Céu aberto	não	15 min	6
04/set	Graças / Derby	0 m	1 m	Céu aberto	sim	15 min	8

## APÊNDICE B – CÓDIGO-FONTE EMBARCADO NA PLACA ARDUINO

### DHT + MQ7

```

#include "dht.h"
#define DHTpin A0
#define MQ7pin A1
dht DHT;
int ROW = 0; // variavel que se refere as linhas do excel
int mq7,tempo_sensor=3000,limite_de_leitura = 100,tempo_loop=9000;
void setup(){
    Serial.begin(9600); // inicialização da comunicação
    serial
    Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
    Serial.println("LABEL,Time,NiveldeCO,Temperatura,Umidade,ROW"); // Nomeia
    as colunas
}
void loop()
{
    //lendo sensor de CO - MQ7
    mq7 = analogRead(MQ7pin);
    delay(tempo_sensor);
    //lendo sensor de Humidade e Temp DHT11
    DHT.read11(DHTpin);
    delay(tempo_sensor);
    // incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha em linha
    ROW++;
    //inicia a impressão de dados, sempre iniciando
    Serial.print("DATA,TIME,");
    //impressão da medida obtida pelo mq7
    Serial.print(mq7);
    Serial.print(",");
    //impressao da medida obtida - temperatura DHT11
    Serial.print(DHT.temperature);
    Serial.print(",");
    //impressao da medida obtida - humidade DHT11
    Serial.print(DHT.humidity);
    Serial.print(",");
}

```

```
    Serial.println(ROW);  
//laço define releitura do sistema - ler possima dos dados obtidos quando  
ultrapassa o limite_de_leitura  
//desabiitar quando for gravar tais leituras  
/*if (ROW > limite_de_leitura) //laço para limitar a quantidade de dados  
{  
    ROW = 0;  
    // alimentação das linhas com os dados sempre iniciando  
    Serial.println("ROW,SET,2");  
}  
*/  
    delay(tempo_loop);  
}
```

## APÊNDICE C – PROGRAMAS-FONTE JAVA UTILIZADOS NOS TESTES DE ESCOAMENTO DE DADOS

Programa de recepção (no Servidor)

```

import java.io.DataOutputStream;
import java.io.File;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.IOException;
import java.io.InputStream;
import java.net.Socket;
import java.util.*;

public class EsseNapsterRecebe {
    public static void main(String[] args) {

        //Criando Classe cliente para receber arquivo
        EsseNapsterRecebe cliente = new EsseNapsterRecebe();
        //Solicitando arquivo
        cliente.getFileFromFileServe();
    }

    private void getFileFromFileServe() {
        Socket sock = null;
        FileOutputStream file = null;
        InputStream is = null;
        DataOutputStream out = null;

        try {
            System.out.println("Informe nome do arquivo para download:");
            Scanner scn = new Scanner(System.in);
            String arquivo = scn.nextLine();
            String baixar = "C:\\MyDownloads\\"+arquivo;

            // Cria arquivo local no cliente
            file = new FileOutputStream(new File(baixar));
            System.out.println("");
            System.out.println("O arquivo será criado em
C:\\MyDownloads");
            System.out.println("");
            // Alterar o I.P. da estação que envia, no caso de testar
em outra máquina
            sock = new Socket("192.168.124.78", 1234);
            out = new DataOutputStream(sock.getOutputStream());
            out.writeUTF(arquivo);

            // Criando conexão com o servidor
            System.out.println("Solicitando arquivo "+arquivo+" ao
Servidor");
            System.out.println("");
            //socket = new Socket("localhost", 1234);
            is = sock.getInputStream();

            // Prepara variaveis para transferencia
            byte[] cbuffer = new byte[1024];

```



### Programa de envio (no computador Cliente)

```

import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.IOException;
import java.io.OutputStream;
import java.net.ServerSocket;
import java.net.Socket;
import java.io.DataInputStream;

public class EsseNapsterEnvia {
    public static void main(String[] args) {

        // Criando servidor
        EsseNapsterEnvia server = new EsseNapsterEnvia();

        // Aguardar conexao de cliente para transferia
        server.waitForClient();

    }

    public void waitForClient() {

        // Checa se a transferencia foi completada com sucesso
        OutputStream out = null;
        ServerSocket servsock = null;
        FileInputStream fileIn = null;

        try {
            // Abrindo porta para conexao de clients
            servsock = new ServerSocket(1234);
            System.out.println("Aguardando solicitações na porta
1234");

                System.out.println("");

            // Cliente conectado
            Socket sock = servsock.accept();
            System.out.println("Recebendo solicitação");
            System.out.println("");

            DataInputStream in = new
DataInputStream(sock.getInputStream());

                String arquivo = in.readUTF();
                String caminho = "C:\\\\Shared\\"+arquivo;

            // Criando tamanho de leitura
            byte[] cbuffer = new byte[1024];
            int bytesRead;

                // Criando arquivo que sera transferido pelo servidor
                // Coloque o caminho de um arquivo em sua maquina
            File file = new File(caminho);
            fileIn = new FileInputStream(file);

```



**APÊNDICE D – TABELA DE AMOSTRAS E DESDOBRAMENTOS EM ELEMENTOS UTILIZÁVEIS NA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA**

	Nível de CO	Temperatura	Umidade do Ar	N. de Carros										
Dt/hr Amostras	y	x1	x2	x3	y <sup>2</sup>	x1 <sup>2</sup>	x2 <sup>2</sup>	x3 <sup>2</sup>	x1y	x2y	x3y	x1x2	x1x3	x2x3
17/ago 07:52:32	28	25	41	148	784	625	1681	21904	700	1148	4144	1025	3700	6068
17/ago 08:07:32	28	23	41	140	784	529	1681	19600	644	1148	3920	943	3220	5740
17/ago 08:22:33	28	25	41	145	784	625	1681	21025	700	1148	4060	1025	3625	5945
17/ago 08:37:33	28	25	40	137	784	625	1600	18769	700	1120	3836	1000	3425	5480
17/ago 08:52:34	28	25	40	146	784	625	1600	21316	700	1120	4088	1000	3650	5840
17/ago 09:07:34	29	28	38	129	841	784	1444	16641	812	1102	3741	1064	3612	4902
17/ago 17:44:56	28	27	39	100	784	729	1521	10000	756	1092	2800	1053	2700	3900
17/ago 17:59:57	27	27	39	98	729	729	1521	9604	729	1053	2646	1053	2646	3822
17/ago 18:14:57	27	27	39	107	729	729	1521	11449	729	1053	2889	1053	2889	4173
17/ago 18:29:58	27	28	39	75	729	784	1521	5625	756	1053	2025	1092	2100	2925
17/ago 18:44:58	27	28	39	83	729	784	1521	6889	756	1053	2241	1092	2324	3237
17/ago 18:59:59	27	27	39	76	729	729	1521	5776	729	1053	2052	1053	2052	2964
17/ago 19:14:59	28	28	39	55	784	784	1521	3025	784	1092	1540	1092	1540	2145
20/ago 17:42:12	30	27	42	123	900	729	1764	15129	810	1260	3690	1134	3321	5166
20/ago 17:57:12	31	28	43	111	961	784	1849	12321	868	1333	3441	1204	3108	4773
20/ago 18:12:13	32	27	43	101	1024	729	1849	10201	864	1376	3232	1161	2727	4343
20/ago 18:27:13	30	27	43	105	900	729	1849	11025	810	1290	3150	1161	2835	4515
20/ago 18:42:14	30	27	43	111	900	729	1849	12321	810	1290	3330	1161	2997	4773
20/ago 18:57:14	31	27	43	84	961	729	1849	7056	837	1333	2604	1161	2268	3612
20/ago 19:12:15	29	27	44	67	841	729	1936	4489	783	1276	1943	1188	1809	2948
TOTAIS	573,0	533,0	815,0	2141,0	16461	14239	33279	244165	15277	23393	61372	21715	56548	87271
MÉDIAS	28,7	26,7	40,8	107,1										

Para a montagem do sistema de equações através do método dos mínimos quadrados, que consiste na minimização da soma de quadrados dos erros (SILVA e SILVA, 2002), temos as representações iniciais, que são:

$$\begin{array}{ll} \sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2 & \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n\bar{Y}^2 \\ \sum_{i=1}^n X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y} & \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^n X_i X_j - n\bar{X}_i \bar{X}_j \end{array}$$

Neste caso,  $i$  irá variar de 1 a 3, pois temos três variáveis independentes.  $n$  é o número de amostras (no caso, 20).

Então, tem-se um sistema com três equações, utilizando os parâmetros  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  e seus respectivos coeficientes (calculados utilizando as variáveis  $Y$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ ):

$$\begin{array}{l} b_1 \sum_{i=1}^{20} x_{1i}^2 - 20\bar{X}_1^2 + b_2 \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{20} x_{1i}x_{2i} - 20\bar{X}_1\bar{X}_2 + b_3 \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{20} x_{1i}x_{3i} - 20\bar{X}_1\bar{X}_3 = \sum_{i=1}^{20} x_{1i}Y_i - 20\bar{X}\bar{Y} \\ b_1 \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{20} x_{1i}x_{2i} - 20\bar{X}_1\bar{X}_2 + b_2 \sum_{i=1}^{20} X_{2i}^2 - 20\bar{X}_2^2 + b_3 \sum_{i=1}^{20} x_{2i}x_{3i} - 20\bar{X}_2\bar{X}_3 = \sum_{i=1}^{20} x_{2i}Y_i - 20\bar{X}\bar{Y} \\ b_1 \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{20} x_{1i}x_{3i} - 20\bar{X}_1\bar{X}_3 + b_2 \sum_{i=1}^{20} x_{2i}x_{3i} - 20\bar{X}_2\bar{X}_3 + b_3 \sum_{i=1}^{20} x_{3i}^2 - 20\bar{X}_3^2 = \sum_{i=1}^{20} x_{3i}Y_i - 20\bar{X}\bar{Y} \end{array}$$

Substituindo os operandos acima pelos calculados na tabela de amostras (Apêndice D), temos:

$$\begin{array}{l} \text{a)} \quad b_1 \cdot 34,55 + b_2 \cdot -4,75 + b_3 \cdot -509,65 = 6,6 \\ \text{b)} \quad b_1 \cdot -4,75 + b_2 \cdot 67,75 + b_3 \cdot 25,25 = 43,3 \\ \text{c)} \quad b_1 \cdot -509,65 + b_2 \cdot 25,25 + b_3 \cdot 14970,95 = 32,4 \end{array}$$

Para obter os valores de  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$ , usamos os seguintes passos:

1º) Dividindo os coeficientes das 3 equações pelo coeficiente de  $b_1$  da primeira equação. Então temos:

$$\begin{aligned}
 \text{a)} \quad & b_1 + b_2 \cdot -0,137 + b_3 \cdot -14,751 = 0,190 \\
 \text{b)} \quad & b_1 + b_2 \cdot -14,263 + b_3 \cdot -5,316 = -9,105 \\
 \text{c)} \quad & b_1 + b_2 \cdot -0,050 + b_3 \cdot -29,375 = -0,063
 \end{aligned}$$

2º) Subtrair, da 1ª. Equação, a 2ª e também a 3ª (uma em cada momento):

$$\begin{array}{r}
 b_1 + b_2 \cdot -0,137 + b_3 \cdot -14,751 = 0,190 \\
 - \quad b_1 + b_2 \cdot -14,263 + b_3 \cdot -5,316 = -9,105 \\
 \hline
 b_2 \cdot 14,126 + b_3 \cdot -9,435 = 9,295 \\
 \\
 b_1 + b_2 \cdot -0,137 + b_3 \cdot -14,751 = 0,190 \\
 - \quad b_1 + b_2 \cdot -0,050 + b_3 \cdot -29,375 = -0,063 \\
 \hline
 b_2 \cdot -0,088 + b_3 \cdot 14,624 = 0,253
 \end{array}$$

3º) Repetir o 1º passo para as 2 equações resultantes das subtrações, desta vez dividindo pelo coeficiente de b2:

$$\begin{aligned}
 b_2 - b_3 \cdot 0,668 &= 0,658 \\
 b_2 - b_3 \cdot 166,297 &= -2,878
 \end{aligned}$$

4º) Repetir o 2º passo, Subtraindo da 1ª. Equação, a 2ª:

$$\begin{aligned}
 b_3 \cdot 165,629 &= 3,536 \\
 \therefore b_3 &= 0,021 \quad \therefore b_2 = 0,672 \quad \therefore b_1 = 0,597
 \end{aligned}$$

Efetuando as substituições no modelo e gerando a equação:

$$\wedge \\
 \text{Conc.CO} = b_0 + 0,597 \text{ Temp.} + 0,672 \text{ Umid} + 0,021 \text{ NCarros} + \varepsilon_1$$

Minimizando o erro e calculando o valor de  $b_0$  utilizando as Médias de Y,  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ :

$$\begin{aligned}
 b_0 &= \text{Conc.CO} - 0,597 \text{ Temp.} - 0,672 \text{ Umid} - 0,021 \text{ NCarros} \\
 \therefore b_0 &= -16,937
 \end{aligned}$$

Proposta de modelo matemático:  $\text{Conc. CO} = \beta_0 + \beta_1 \text{Temp} + \beta_2 \text{UmRel} + \beta_3 \text{NCarros} + \epsilon_1$

Sistema de equações

coef.b1	coef.b2	coef.b3	$\Sigma xiy$
34,55	-4,75	-509,65	6,6
-4,75	67,75	25,25	43,3
-509,65	25,25	14970,95	32,4

Qtde de amostras:

1.Passo

(Dividir pelo coef.b1)

1	-0,1375	-14,7511	0,1896
1	-14,2632	-5,3158	-9,1053
1	-0,0495	-29,3750	-0,0635

2.Passo

(Equ1 - Equ2)

0	14,1257	-9,4353	9,2948
0	-0,0879	14,6239	0,2531

(Equ1 - Equ3)

Repetir o 1.Passo

(Dividir pelo coef.b2)

1	-0,6680	0,6580
1	-166,2974	-2,8777

Repetir o 2.Passo

(equ1 - Equ2)

0	165,6294	3,5357
---	----------	--------

Cálculo de b0, b1, b2 e b3

b3 = 0,021  
 b2 = 0,672      34,55.b1 = 20,623  
 b1 = 0,597  
 b0 = -16,937

Equação:  $\hat{\text{Nível CO}} = -16,937 + 0,597 \text{Temp} + 0,672 \text{Umid} + 0,021 \text{NCarros}$

ANOVA Calculada

FV	GL	SQ	QM	F
Regressão	3	33,68	11,23	<b>16,5167 **</b>
Resíduo	16	10,87	0,68	
Total	19	44,55		

F Tabelado:

F (5%; 3; 16) = **3,24**

F (1%; 3; 16) = **5,29**

Coef.Determinação

$r^2 = 75,6\%$

$r = 86,9\%$

Proposta de modelo matemático:  $\text{Conc. CO} = \beta_0 + \beta_1 \text{Temp} + \beta_2 \text{UmRel} + \varepsilon_1$

	Conc. de CO	Temperatura	Umidade do Ar						
Amostras	y	x1	x2	y <sup>2</sup>	x1 <sup>2</sup>	x2 <sup>2</sup>	x1y	x2y	x1x2
07:52:32	28	25	41	784,0	625,0	1681,0	700,0	1148	1025
08:07:32	28	23	41	784,0	529,0	1681,0	644,0	1148	943
08:22:33	28	25	41	784,0	625,0	1681,0	700,0	1148	1025
08:37:33	28	25	40	784,0	625,0	1600,0	700,0	1120	1000
08:52:34	28	25	40	784,0	625,0	1600,0	700,0	1120	1000
09:07:34	29	28	38	841,0	784,0	1444,0	812,0	1102	1064
17:44:56	28	27	39	784,0	729,0	1521,0	756,0	1092	1053
17:59:57	27	27	39	729,0	729,0	1521,0	729,0	1053	1053
18:14:57	27	27	39	729,0	729,0	1521,0	729,0	1053	1053
18:29:58	27	28	39	729,0	784,0	1521,0	756,0	1053	1092
18:44:58	27	28	39	729,0	784,0	1521,0	756,0	1053	1092
18:59:59	27	27	39	729,0	729,0	1521,0	729,0	1053	1053
19:14:59	28	28	39	784,0	784,0	1521,0	784,0	1092	1092
17:42:12	30	27	42	900,0	729,0	1764,0	810,0	1260	1134
17:57:12	31	28	43	961,0	784,0	1849,0	868,0	1333	1204
18:12:13	32	27	43	1024,0	729,0	1849,0	864,0	1376	1161
18:27:13	30	27	43	900,0	729,0	1849,0	810,0	1290	1161
18:42:14	30	27	43	900,0	729,0	1849,0	810,0	1290	1161
18:57:14	31	27	43	961,0	729,0	1849,0	837,0	1333	1161
19:12:15	29	27	44	841,0	729,0	1936,0	783,0	1276	1188
TOTAIS	573,0	533,0	815,0	16461,0	14239,0	33279,0	15277,0	23393	21715
MÉDIAS	28,7	26,7	40,8						

Sistema

coef.b1	coef.b2	Σxiy
34,55	-4,75	6,6
-4,75	67,75	43,3

Qtde de amostras: 20

1.Passo  
(Dividir pelo coef.b1)

1	-0,137	0,190
1	-14,263	-9,105

Cálculo de b0, b1 e b3

b2 = 0,658

b1 = 0,280

b0 = -5,627

2.Passo  
(Equ1 - Equ3)

0	14,126	9,295
---	--------	-------

Equação  $\hat{\text{Conc. CO}} = -5,627 + 0,280 \text{Temp} + 0,658 \text{Umid}$

ANOVA	FV	GL	SQ	QM	F	F Tabelado:	Coef.Det e Coef.Corr.
Calculada	Regressão	2	30,2932	15,1466	<b>18,0611</b> **	F (5%; 2; 17) = <b>3,59</b>	r <sup>2</sup> = <b>68,0%</b>
	Resíduo	17	14,2568	0,8386		F (1%; 2; 17) = <b>6,11</b>	r = <b>82,5%</b>
	Total	19	44,55				

**ANEXOS**

## ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO SENSOR DE MONÓXIDO DE CARBONO MQ7

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD

MQ-7

<http://www.hwsensor.com>

### TECHNICAL DATA

### MQ-7 GAS SENSOR

#### FEATURES

- \* High sensitivity to carbon monoxide
- \* Stable and long life

#### APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

#### SPECIFICATIONS

##### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ±5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60±1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90±1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

##### b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

##### c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃ ± 2℃ Vc:5V±0.1V	relative humidity 65%±5% VH:5V±0.1V	RL:10K Ω ± 5% VH:1.4V±0.1V
Preheat time	No less than 48 hours		Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide

##### D. Structure and configuration, basic measuring circuit

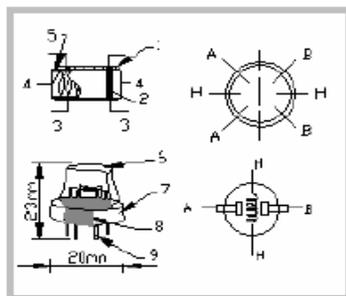
Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TEL:86-371-67169070 67169080

FAX:86-371-67169090

Email: [sales@hwsensor.com](mailto:sales@hwsensor.com)

6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	$\text{SnO}_2$
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	$\text{Al}_2\text{O}_3$
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

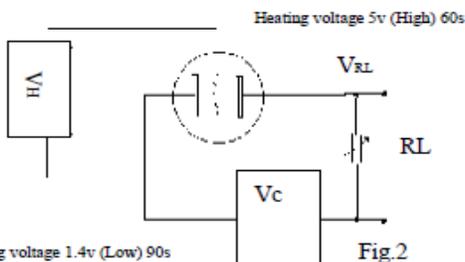
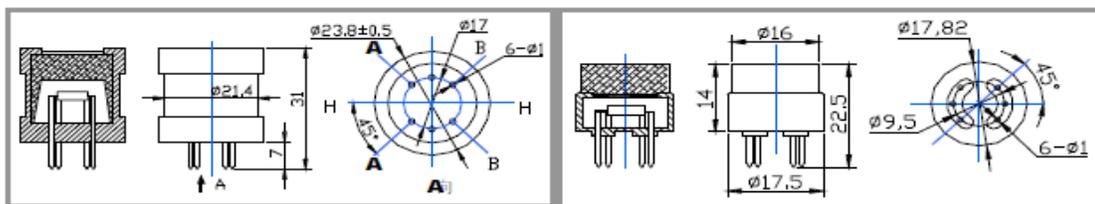


Fig.2

**Standard circuit:**

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

**E. Sensitivity characteristic curve**

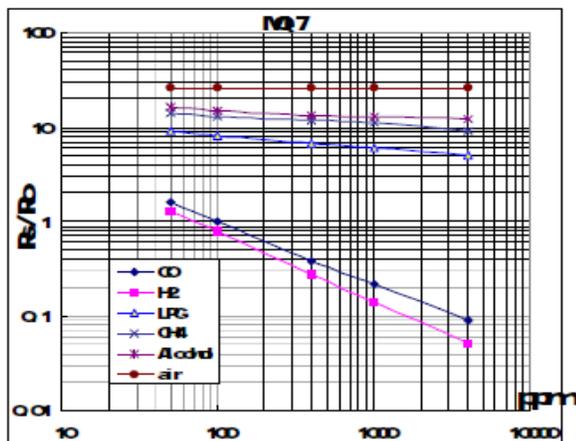


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%,  $\text{O}_2$  concentration 21%,  $R_L=10k\ \Omega$   
 $R_0$ : sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.  
 $R_s$ : sensor resistance at various concentrations of gases.

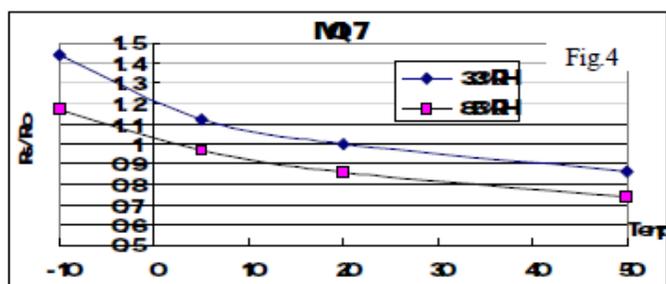


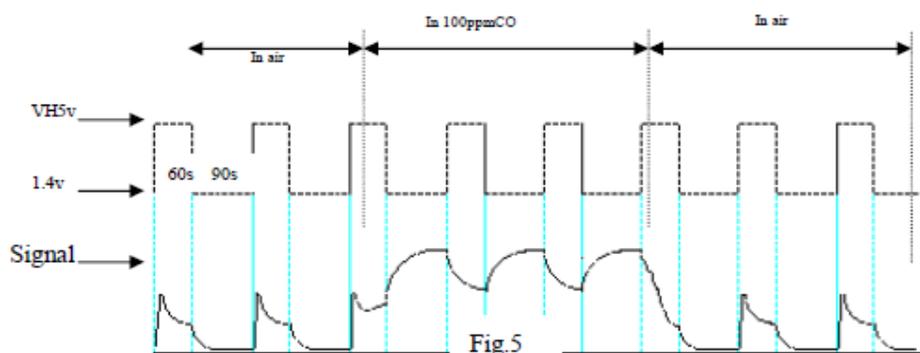
Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.  
 R<sub>0</sub>: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.  
 R<sub>s</sub>: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

### OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R<sub>s</sub> is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R<sub>L</sub> which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s/R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R<sub>L</sub> signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO<sub>2</sub> with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

### SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that (R<sub>L</sub>) about 10 KΩ (5KΩ to 47 KΩ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

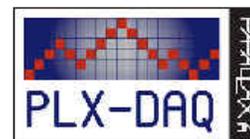
- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R<sub>L</sub> until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R<sub>L</sub> until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

## ANEXO B – MACRO PLX-DAQ (CARACTERÍSTICAS GERAIS)

### Basic Principles

[ [Home](#) ] [ [Copyrights](#) ] [ [Basic Principles](#) ] [ [Getting Started](#) ] [ [Control Directives](#) ]  
 [ [Plotting Example](#) ] [ [Interactive Metering Example](#) ]



### PLX-DAQ Basic Principles

#### General

Data, in specific formats, is sent from the controller to the computer's serial port. A Visual Basic for Applications (VBA) macro containing a serial port control is used in Excel to accept data from the serial port, analyze it, place the data in the spreadsheet or perform other actions. Directives are used to inform PLX-DAQ of what action is to be taken.

#### Directives

PLX-DAQ analyzes incoming data strings from the BASIC Stamp for action. Strings begin with a directive informing PLX-DAQ of what action to take. Most all controllers have a means to send serial data to the PC. The data sent must be formatted properly to be understood by PLX-DAQ.

- All directives are in CAPITAL letters, and some are followed by comma-separated data. Each string **MUST** end in a carriage return (CR).
- Strings not beginning with directives will be ignored.
- Strings containing ASCII characters < 10 or > 200 will not be processed and indicated as an error.
- Example directive:

**DATA,123,345,567**

Will place the 3 values in the 1st 3 cells of the next row.

#### Plotting or Metering

Beyond collecting data, PLX-DAQ may be used for real-time plotting or metering. Using the DATA directive, data may be plotted using graphing features of Excel as data fills rows. Through the used of the CELL,SET directives, code may directly update cells allowing real-time metering using graphs in Excel.

#### Serial Communications

The computer serial COM ports are used to communicate with the controller. PLX-DAQ supports Baud rates up to 128,000. If you are using a USB device for communications, many of these devices create a virtual COM port which may be accessed as regular COM port. Your programming software may tell you the port it is programming through, or you can use Device Manager of Windows to view the available ports. *Only COM Port 1 - 15 are supported by this software.*

#### One Port, One Application

Only ONE application can have control of a serial port at any one time. If you use the same serial for programming and communications, you will need to disconnect PLX-DAQ prior to programming and close any terminal window your programming software may use, such as a DEBUG window.

#### Speed Limitations

Serial Data: Serial data is transmitted one-bit at a time, including Start and Stop bits. 9600 refers to the ability to send a byte at 9600 bits per second. One byte (or character), plus start and stop bits, is 10 bits long. At 9600 baud this would take  $1/9600 * 10 = 1.04 \text{ mS}$  or .00104 seconds. With a string such as

DATA,65,66, which is 10 characters, plus a CR or carriage return, for 11 bytes.  $1.04 * 11 = 11.44\text{mS}$  or .0114 seconds.

PLX-DAQ: This application can only accept and use the data as fast as the program can run. On slow computers it may not be able to process the data fast enough to maintain real-time. Variables in maintaining real-time include the speed of the computer (223MHz or 1.2GHz?), the rate at which data is being sent from the BASIC Stamp (once a second or every 10mS?) and how Excel is using the data (just placing in rows or graphing and performing calculations while the data is arriving?). If you require high speed data in real time and wish to graph it, it is best to place the graph on a second Excel worksheet and not view it. Viewing a graph will slow the processing time considerably. PLX-DAQ has a 5000 character buffer in the event data arrives faster than it can be processed by Excel.

## Getting Started with PLX-DAQ

### System Requirements

- Windows 98 or higher.
- Microsoft Office 2000 or higher.
- Communications port for programming and data communications.
- Microcontroller hardware and editor.

### Excel Macros and Security

Due to the malicious nature of some VBA macros, Microsoft has security features associated with the use of macros.

- Upon starting the spreadsheet, Excel may ask if you wish to allow the macro to run. For PLX-DAQ to operate you will need to allow it.
- Excel may be set for "High" security and Excel will not ask about running macros, nor will it allow macros to be run. To switch to "Medium" security:
  - From Excel, Select menu item "Tools-->Macro-->Security"
  - Set security to "Medium" to allow Excel to ask about running macros. "Low" is NOT recommended for security reasons.
  - Close Excel and re-open the PLX-DAQ spreadsheet.

### PLX-DAQ Interface



- Once the spreadsheet is loaded the interface should open automatically, or pressing CTRL-q on the keyboard will open the interface.
- The settings may be used to select the COM port and the Baud rate for the data.
- Reset on Connect will cycle the COM port DTR line. With some controllers this will cause the controller to reset.  
This will work with the BASIC Stamp and the Propeller (if using the programming port for communications).
- Clicking the Connect button will connect on the specified COM port at the specified baud rate (8 bits, no parity, 1 stop bit). Disconnect by clicking it again.
- The data communication indicators will indicate:
  - Not Connected - Red C
  - Connected - Green C
  - Data Received - Red R
  - Data Transmitted - Red T
- Use the Clear Columns button to clear columns A-J (all rows except row 1) or the number of columns data was placed in (up to 26).
- Checkboxes are used for interactivity. The controller can read the checkboxes using directives.
  - Download Data can be used to dump stored data for retrieval dependent on user's controller code.
  - Clear Stored Data can be used to clear any stored data dependent on user's controller code.
  - User1 and User2 are user defined checkboxes and may be labeled by your controller.
- Reset Timer will reset PLX-DAQ's timer to 0 which is accessed using the TIMER directive.

### Modifying & Saving Your Spreadsheet

- You may add graphs and charts and calculations of your PLX-DAQ data to your spreadsheet (see limitations below).
- You may modify the spreadsheet in other ways to use the data as you desire.
- You may save your spreadsheet and re-open it with your changes, or save to other names.
- You may share your modified spreadsheets with other users of PLX-DAQ.

### Limitations

- PLX-DAQ can accept 26 comma-separated values for use in Excel.
- ***PLX-DAQ will ALWAYS place incoming data on the 1st sheet of your workbook.***
- You may create additional sheets and charts, but PLX-DAQ will use the 1st in the tabbed-list for incoming data.
- If you are plotting high-speed data, it is recommended you place charts and graphs on separate sheets. Viewing of charts and graphs as data arrives will dramatically slow the processing of incoming data.
- Sharing of modified PLX-DAQ spreadsheets, such as with special graphs or calculations, is encouraged though the end-user will need to have installed PLX-DAQ to use the data acquisition features.
- Distribution of modifications to the PLX-DAQ macro is not authorized under the name of PLX-DAQ or other names without consent of participating companies. Please see the copyright notice.
- For simple error checking, PLX-DAQ will indicate an error anytime that a string containing characters < ASCII 10 or > ASCII 200 is received.
- Values of ASCII 10 (Line Feed) are replaced with ASCII 13 (Carriage Return) prior to processing.

## ANEXO C – LIMITES UNILATERAIS DA DISTRIBUIÇÃO F DE FISHER-SNEDECOR AO NÍVEL DE 1% DE PROBABILIDADE

GL V2	V1																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	40	60	120	240
1	4052.2	4999.3	5403.5	5624.3	5764.0	5859.0	5928.3	5981.0	6022.4	6055.9	6083.4	6106.7	6125.8	6143.0	6157.0	6208.7	6286.4	6313.0	6339.5	6352.6
2	98.502	99.000	99.164	99.251	99.302	99.331	99.357	99.375	99.390	99.397	99.408	99.419	99.422	99.426	99.433	99.448	99.477	99.484	99.491	99.495
3	34.116	30.816	29.457	28.710	28.237	27.911	27.671	27.489	27.345	27.228	27.132	27.052	26.983	26.924	26.872	26.690	26.411	26.316	26.221	26.173
4	21.198	18.000	16.694	15.977	15.522	15.207	14.976	14.799	14.659	14.546	14.452	14.374	14.306	14.249	14.198	14.019	13.745	13.652	13.558	13.511
5	16.258	13.274	12.060	11.392	10.967	10.672	10.456	10.289	10.158	10.051	9.963	9.888	9.825	9.770	9.722	9.553	9.291	9.202	9.112	9.066
6	13.745	10.925	9.780	9.148	8.746	8.466	8.260	8.102	7.976	7.874	7.790	7.718	7.657	7.605	7.559	7.396	7.143	7.057	6.969	6.925
7	12.246	9.547	8.451	7.847	7.460	7.191	6.993	6.840	6.719	6.620	6.538	6.469	6.410	6.359	6.314	6.155	5.908	5.824	5.737	5.694
8	11.259	8.649	7.591	7.006	6.632	6.371	6.178	6.029	5.911	5.814	5.734	5.667	5.609	5.559	5.515	5.359	5.116	5.032	4.946	4.903
9	10.562	8.022	6.992	6.422	6.057	5.802	5.613	5.467	5.351	5.257	5.178	5.111	5.055	5.005	4.962	4.808	4.567	4.483	4.398	4.354
10	10.044	7.559	6.552	5.994	5.636	5.386	5.200	5.057	4.942	4.849	4.772	4.706	4.650	4.601	4.558	4.405	4.165	4.082	3.996	3.953
11	9.646	7.206	6.217	5.668	5.316	5.069	4.886	4.744	4.632	4.539	4.462	4.397	4.342	4.293	4.251	4.099	3.860	3.776	3.690	3.647
12	9.330	6.927	5.953	5.412	5.064	4.821	4.640	4.499	4.388	4.296	4.220	4.155	4.100	4.052	4.010	3.858	3.619	3.535	3.449	3.405
13	9.074	6.701	5.739	5.205	4.862	4.620	4.441	4.302	4.191	4.100	4.025	3.960	3.905	3.857	3.815	3.665	3.425	3.341	3.255	3.210
14	8.862	6.515	5.564	5.035	4.695	4.456	4.278	4.140	4.030	3.939	3.864	3.800	3.745	3.698	3.656	3.505	3.266	3.181	3.094	3.050
15	8.683	6.359	5.417	4.893	4.556	4.318	4.142	4.004	3.895	3.805	3.730	3.666	3.612	3.564	3.522	3.372	3.132	3.047	2.959	2.914
16	8.531	6.226	5.292	4.773	4.437	4.202	4.026	3.890	3.780	3.691	3.616	3.553	3.498	3.451	3.409	3.259	3.018	2.933	2.845	2.799
17	8.400	6.112	5.185	4.669	4.336	4.101	3.927	3.791	3.682	3.593	3.518	3.455	3.401	3.353	3.312	3.162	2.920	2.835	2.746	2.700
18	8.285	6.013	5.092	4.579	4.248	4.015	3.841	3.705	3.597	3.508	3.434	3.371	3.316	3.269	3.227	3.077	2.835	2.749	2.660	2.613
19	8.185	5.926	5.010	4.500	4.171	3.939	3.765	3.631	3.523	3.434	3.360	3.297	3.242	3.195	3.153	3.003	2.761	2.674	2.584	2.537
20	8.096	5.849	4.938	4.431	4.103	3.871	3.699	3.564	3.457	3.368	3.294	3.231	3.177	3.130	3.088	2.938	2.695	2.608	2.517	2.470
21	8.017	5.780	4.874	4.369	4.042	3.812	3.640	3.506	3.398	3.310	3.236	3.173	3.119	3.072	3.030	2.880	2.636	2.548	2.457	2.409
22	7.945	5.719	4.817	4.313	3.988	3.758	3.587	3.453	3.346	3.258	3.184	3.121	3.067	3.019	2.978	2.827	2.583	2.495	2.403	2.355
23	7.881	5.664	4.765	4.264	3.939	3.710	3.539	3.406	3.299	3.211	3.137	3.074	3.020	2.973	2.931	2.780	2.536	2.447	2.354	2.306
24	7.823	5.614	4.718	4.218	3.895	3.667	3.496	3.363	3.256	3.168	3.094	3.032	2.977	2.930	2.889	2.738	2.492	2.403	2.310	2.261
25	7.770	5.568	4.675	4.177	3.855	3.627	3.457	3.324	3.217	3.129	3.056	2.993	2.939	2.892	2.850	2.699	2.453	2.364	2.270	2.220
26	7.721	5.526	4.637	4.140	3.818	3.591	3.421	3.288	3.182	3.094	3.021	2.958	2.904	2.857	2.815	2.664	2.417	2.327	2.233	2.183
27	7.677	5.488	4.601	4.106	3.785	3.558	3.388	3.256	3.149	3.062	2.988	2.926	2.872	2.824	2.783	2.632	2.384	2.294	2.198	2.148
28	7.636	5.453	4.568	4.074	3.754	3.528	3.358	3.226	3.120	3.032	2.959	2.896	2.842	2.795	2.753	2.602	2.354	2.263	2.167	2.117
29	7.598	5.420	4.538	4.045	3.725	3.499	3.330	3.198	3.092	3.005	2.931	2.868	2.814	2.767	2.726	2.574	2.325	2.234	2.138	2.087
30	7.562	5.390	4.510	4.018	3.699	3.473	3.305	3.173	3.067	2.979	2.906	2.843	2.789	2.742	2.700	2.549	2.299	2.208	2.111	2.060
40	7.314	5.178	4.313	3.828	3.514	3.291	3.124	2.993	2.888	2.801	2.727	2.665	2.611	2.563	2.522	2.369	2.114	2.019	1.917	1.862
50	7.171	5.057	4.199	3.720	3.408	3.186	3.020	2.890	2.785	2.698	2.625	2.563	2.508	2.461	2.419	2.265	2.007	1.909	1.803	1.745
60	7.077	4.977	4.126	3.649	3.339	3.119	2.953	2.823	2.718	2.632	2.559	2.496	2.442	2.394	2.352	2.198	1.936	1.836	1.726	1.666
80	6.963	4.881	4.036	3.563	3.255	3.036	2.871	2.742	2.637	2.551	2.478	2.415	2.361	2.313	2.271	2.115	1.849	1.746	1.630	1.566
100	6.895	4.824	3.984	3.513	3.206	2.988	2.823	2.694	2.590	2.503	2.430	2.368	2.313	2.265	2.223	2.067	1.797	1.692	1.572	1.504
120	6.851	4.787	3.949	3.480	3.174	2.956	2.792	2.663	2.559	2.472	2.399	2.336	2.282	2.234	2.191	2.035	1.763	1.656	1.533	1.462
240	6.742	4.695	3.864	3.398	3.094	2.878	2.714	2.586	2.482	2.395	2.322	2.260	2.205	2.157	2.114	1.956	1.677	1.565	1.432	1.351

## ANEXO D – LIMITES UNILATERAIS DA DISTRIBUIÇÃO F DE FISHER-SNEDECOR AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE

GL	V1																			
V2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	40	60	120	240
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	244.7	245.4	245.9	248.0	251.1	252.2	253.3	253.8
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.446	19.471	19.479	19.487	19.492
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.660	8.594	8.572	8.549	8.538
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.803	5.717	5.688	5.658	5.643
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.558	4.464	4.431	4.398	4.382
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.874	3.774	3.740	3.705	3.687
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.445	3.340	3.304	3.267	3.249
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.150	3.043	3.005	2.967	2.947
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.936	2.826	2.787	2.748	2.727
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.774	2.661	2.621	2.580	2.559
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.646	2.531	2.490	2.448	2.426
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.544	2.426	2.384	2.341	2.319
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.459	2.339	2.297	2.252	2.230
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.388	2.266	2.223	2.178	2.155
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.328	2.204	2.160	2.114	2.090
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.276	2.151	2.106	2.059	2.035
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.230	2.104	2.058	2.011	1.986
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.191	2.063	2.017	1.968	1.943
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.155	2.026	1.980	1.930	1.905
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.124	1.994	1.946	1.896	1.870
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.096	1.965	1.916	1.866	1.839
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.071	1.938	1.889	1.838	1.811
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.048	1.914	1.865	1.813	1.785
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.027	1.892	1.842	1.790	1.762
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.007	1.872	1.822	1.768	1.740
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	1.990	1.853	1.803	1.749	1.720
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	1.974	1.836	1.785	1.731	1.702
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	1.959	1.820	1.769	1.714	1.685
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	1.945	1.806	1.754	1.698	1.669
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.932	1.792	1.740	1.683	1.654
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.839	1.693	1.637	1.577	1.544
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.784	1.634	1.576	1.511	1.476
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.748	1.594	1.534	1.467	1.430
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.703	1.545	1.482	1.411	1.370
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.676	1.515	1.450	1.376	1.333
120	3.920	3.072	2.680	2.447	2.290	2.175	2.087	2.016	1.959	1.910	1.869	1.834	1.803	1.775	1.750	1.659	1.495	1.429	1.352	1.307
240	3.881	3.033	2.642	2.409	2.252	2.136	2.048	1.977	1.919	1.870	1.829	1.793	1.761	1.733	1.708	1.614	1.445	1.375	1.290	1.237