



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE - PRODEMA**

ALEXANDRE VALENÇA DO NASCIMENTO SILVA

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE GASES POLUENTES POR
VEÍCULOS AUTOMOTIVOS EM RECIFE - PE**

RECIFE
2020

ALEXANDRE VALENÇA DO NASCIMENTO SILVA

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE GASES POLUENTES POR VEÍCULOS
AUTOMOTIVOS EM RECIFE - PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de pesquisa: Meio Ambiente

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza.

RECIFE
2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

S586a Silva, Alexandre Valença do Nascimento.
Análise da concentração de gases poluentes por veículos automotivos em Recife –
PE / Alexandre Valença do Nascimento Silva. – 2020.
169 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2020.
Inclui referências e anexos.

1. Meio ambiente. 2. Ar – Poluição. 3. Automóveis – Motores – Gás de exaustão. 4.
Clima. I. Souza, Werônica Meira de (Orientadora). II. Título.

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2020-176)

ALEXANDRE VALENÇA DO NASCIMENTO SILVA

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE GASES POLUENTES POR VEÍCULOS
AUTOMOTIVOS EM RECIFE - PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 03/03/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Werônica Meira de Souza (Orientadora)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Examinador Interno)
Departamento de Ciências Geográficas
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a. Dr.^a. Valéria Sandra de Oliveira Costa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco
PNPD/CAPES- PRODEMA

Prof. Dr. Alvaro Antonio Ochoa Villa (Examinador Externo)
Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Inajá Francisco de Souza (Examinador Externo)
Departamento de Engenharia Agrônômica
Universidade Federal de Sergipe

Dedico este trabalho à minha mãe Cassia Maria Valença que
sempre sonhou e desejou a conclusão do doutorado, e à
minha família Liliane Oliveira, Heitor Valença e Helena
Valença.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço à Deus por ter conseguido concluir o trabalho. Agradeço à minha mãe que sempre me deu forças para concluir os meus estudos. Agradeço muito à minha família, principalmente a minha esposa Liliane Oliveira da Silva, pela compreensão em diversos momentos em que precisei ficar ausente para a realização desse trabalho. Tenho muito que agradecer a professora Werônica Meira por sempre ter acreditado no meu trabalho e me ajudado nessa longa jornada. Agradeço ao Instituto Federal de Pernambuco, campus Pesqueira por toda a assistência imprescindível na realização do meu trabalho. Agradeço ao PRODEMA pela oportunidade de mostrar um trabalho de grande utilidade para a sociedade, e a todos que compõem o programa, pela grande ajuda nessa conquista. Agradeço a colegas e alunos que me ajudaram na elaboração desse trabalho, em especial Leonardo que trabalhou comigo na elaboração do medidor de gases.

RESUMO

As fontes veiculares têm uma participação acentuada na degradação da qualidade do ar, principalmente nos grandes centros urbanos onde houve um crescimento da frota veicular e redução de áreas verdes, que foram substituídas por prédios, indústrias, vias, entre outros. A presença de vegetação nas cidades contribui com a absorção de poluentes atmosféricos e diminuição das ilhas de calor. Este trabalho teve como objetivo analisar a concentração dos gases poluentes na baixa atmosfera emitidos por veículos automotivos na cidade do Recife-PE. Foram utilizados dados anuais de 1990 a 2018 da frota veicular de Recife disponibilizados pelo DETRAN, taxas de emissão de CO e CO₂ por ano de fabricação veicular pelo PROCONVE, valores médios da distância percorrida por veículo em Km pelo Inventário Rodoviário do MMA, e fatores de deteriorização dos veículos pela CETESB. Estimou-se a massa total de CO e CO₂ emitida pela frota da cidade. Um dispositivo utilizando a plataforma Arduino foi construído e calibrado para as medições de CO e CO₂ atmosférico. Também se realizou medições de CO e CO₂ em três pontos da cidade: 1- com fluxo veicular e sem arborização (Av. Agamenon Magalhães); 2- com fluxo veicular e com arborização (BR 232); e 3- sem presença veicular e com arborização (Parque da Jaqueira), durante o verão e inverno. Os resultados mostraram que apesar dos avanços tecnológicos para redução de emissão de poluentes, houve um crescimento das concentrações anuais de CO e CO₂ ocasionados pelo aumento (334%) da frota veicular em Recife. O aparelho construído para as medições atmosféricas apresentou-se eficiente. Constatou-se que nos dois pontos (1 e 2) com fluxo veicular apresentaram valores de CO e CO₂ elevados durante a semana e valores baixos no final de semana, enquanto no ponto 3 o CO₂ foi inferior em relação aos pontos 1 e 2, evidenciando a importância da presença de vegetação na absorção de CO₂, e consequentemente para minimizar os impactos dos gases do efeito estufa sobre o meio.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Emissão veicular. Clima urbano.

ABSTRACT

Vehicle sources play a major role in the degradation of air quality, especially in large urban centers where there has been an increase in the vehicle fleet and a reduction in green areas, which have been replaced by buildings, industries, roads, among others. The presence of vegetation in cities contributes to the absorption of atmospheric pollutants and a decrease in heat islands. This work aimed to analyze the concentration of pollutant gases in the low atmosphere emitted by automotive vehicles in the city of Recife-PE. Annual data from 1990 to 2018 of the vehicular fleet in Recife made available by DETRAN, emission rates of CO and CO₂ per year of vehicular manufacture by PROCONVE, average values of distance traveled per vehicle in km by the MMA Inventory, and deterioration factors were used vehicles by CETESB. The total mass of CO and CO₂ emitted by the city fleet was estimated. A device using the Arduino platform was built and calibrated for CO and atmospheric CO₂ measurements. CO and CO₂ measurements were also carried out at three points in the city: 1- with vehicular flow and without afforestation (Av. Agamenon Magalhães); 2- with vehicular flow and afforestation (BR 232); and 3-without vehicular presence and with afforestation (Parque da Jaqueira), during summer and winter. The results showed that despite technological advances to reduce pollutant emissions, there was an increase in the annual concentrations of CO and CO₂ caused by the increase (334%) of the vehicle fleet in Recife. The device built for atmospheric measurements was efficient. It was found that in the two points (1 and 2) with vehicular flow they presented high values of CO and CO₂ during the week and low values in the weekend, while in point 3 the CO₂ was lower in relation to points 1 and 2, showing the importance of the presence of vegetation in the absorption of CO₂, and consequently to minimize the impacts of greenhouse gases on the environment.

Keywords: Air pollution. Vehicle emissions. Urban climate.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves (Fases” L”)	35
Quadro 2 – Principais características técnicas dos sensores de gases em medições de qualidade do ar	49
Quadro 3 – Características do ArduinoMega 2560 R3.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução dos limites de Monóxido de Carbono (a), Hidrocarbonetos (B), Oxidos de Nitrogênio (C) e Aldeido (D) para veículos leves (Fases PROCONVE –L)	36
Figura 2 – Componentes dos sensores da família MQ-x.....	53
Figura 3 – Circuito elétrico dos sensores da família MQ-x.....	54
Figura 4 – Circuito divisor de tensão.....	55
Figura 5 – Comportamento do sensor MQ-135 para diversos gases.....	56
Figura 6 – Mapa da cidade do Recife com identificação dos 94 bairros e das seis regiões político – administrativas.....	60
Figura 7 – Analisador de Gases de Exaustão de Veículos Automotores.....	62
Figura 8 – Foto do analisador de gases da Tecnomotor	65
Figura 9 – Interface disponível pelo analisador de gases	66
Figura 10 – Fluxograma do cálculo das emissões totais	68
Figura 11 – Esquema parcial do medidor de Gases.....	75
Figura 12 – Esquema da instalação do MQ-x.....	75
Figura 13 – Interface do IDE.....	76
Figura 14 – Aparato utilizado para a calibração do Medidor de Gases.....	77
Figura 15 – Interface do sistema.....	78
Figura 16 – Localização dos pontos escolhidos	80
Figura 17 – Avenida Governador Agamenon Magalhães	81
Figura 18 – Ponto de coleta 1	81
Figura 19 – BR 232, Recife	82
Figura 20 – Localização do Ponto de coleta 2.....	83
Figura 21 – Parque da Jaqueira, Recife	83
Figura 22 – Localização do Ponto de coleta 3.....	84
Figura 23 – Emissão veicular em marcha lenta dos HC, CO e CO ₂	90
Figura 24 – Concentrações de CO dos pontos 1, 2 e 3 de acordo com o período	111
Figura 25 – Concentrações de CO ₂ dos pontos 1, 2 e 3 de acordo com o período.....	125

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da frota veicular modal da cidade do Recife	86
Gráfico 2 – Veículos automotivos na cidade do Recife em 1990 e 2018.....	88
Gráfico 3 – Evolução da frota total veicular e da frota dos automóveis da cidade do Recife - PE	89
Gráfico 4 – Evolução percentual dos automóveis em relação à frota da cidade do Recife	89
Gráfico 5 – Evolução das emissões totais de Monóxido de Carbono para os automóveis que utilizam álcool e gasolina	95
Gráfico 6 – Evolução das emissões totais do Dióxido de Carbono para os automóveis, utilizando apenas o álcool e apenas a gasolina.....	97
Gráfico 7 – Relação RS/RL em função da concentração em ppm do Medidor KR1000	99
Gráfico 8 – RS/RL para MQ-135 em função dos valores do Medidor KR1000	100
Gráfico 9 – Concentração de CO para o mês de janeiro pela manhã ponto 1	103
Gráfico 10 – Concentração de CO para o mês Janeiro à tarde ponto 1	103
Gráfico 11 – Concentração de CO para o mês de julho pela manhã ponto 1	104
Gráfico 12 – Concentração de CO para o mês de julho à tarde ponto 1	104
Gráfico 13 – Concentrações médias Diária de CO por período para ponto 1	106
Gráfico 14 – Concentração de CO para o mês de janeiro pela Manhã ponto 2.....	107
Gráfico 15 – Concentração de CO para o mês de janeiro à tarde ponto 2.....	107
Gráfico 16 – Concentração de CO para o mês de julho pela manhã ponto 2.....	108
Gráfico 17 – Concentração de CO para o mês de julho à tarde ponto 2	108
Gráfico 18 – Concentrações médias diária de CO por período para o ponto 2	110
Gráfico 19 – Concentração de CO ₂ para o mês de janeiro pela manhã ponto 1.....	114
Gráfico 20 – Concentração de CO ₂ para o mês de janeiro tarde ponto 1	114
Gráfico 21 – Concentração de CO ₂ para o mês de julho manhã ponto 1	115
Gráfico 22 – Concentração de CO ₂ para o mês de julho tarde ponto 1	115
Gráfico 23 – Concentrações Médias Diária de CO ₂ por período para o ponto 1	117
Gráfico 24 – Concentração de CO ₂ para o mês de janeiro manhã ponto 2	118
Gráfico 25 – Concentração de CO ₂ para o mês de janeiro tarde ponto 2	118
Gráfico 26 – Concentração de CO ₂ para o mês de julho manhã ponto 2	119
Gráfico 27 – Concentração de CO ₂ para o mês de julho tarde ponto 2.....	119
Gráfico 28 – Concentrações médias Diária de CO ₂ por período para o ponto 2	121
Gráfico 29 – Concentração de CO ₂ para o mês de janeiro manhã ponto 3	122

Gráfico 30 – Concentração de CO ₂ para o mês de janeiro tarde ponto 3.....	122
Gráfico 31 – Concentração de CO ₂ para o mês de julho manhã ponto 3.....	122
Gráfico 32 – Concentração de CO ₂ para o mês de julho tarde ponto 3.....	123
Gráfico 33 – Concentrações médias Diária de CO ₂ por período para o ponto 3.....	124
Gráfico 34 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro manhã, no ponto 1	132
Gráfico 35 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro à tarde, no ponto 1	132
Gráfico 36 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho pela manhã, no ponto 1....	133
Gráfico 37 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho à tarde, no ponto 1	133
Gráfico 38 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro manhã, no ponto 2	135
Gráfico 39 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro à tarde, no ponto 2	135
Gráfico 40 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho pela manhã, no ponto 2....	136
Gráfico 41 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho à tarde, no ponto 2	136
Gráfico 42 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro manhã, no ponto 3	138
Gráfico 43 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro à tarde, no ponto 3	138
Gráfico 44 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho pela Manhã, no ponto 3 ...	139
Gráfico 45 – CO ₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho à tarde, no ponto 3	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 quilômetros.....	21
Tabela 2 – Limites do Programa de controle de emissões veiculares para as seis fases Limites do PROCONVE para as seis fases	36
Tabela 3 – Limites máximos de emissão (%) de Monóxido de Carbono (CO) corrigido.....	37
Tabela 4 – Limites máximos de emissão (ppm) de Hidrocarboneto (HC) corrigido	37
Tabela 5 – Padrões de Qualidade do ar	38
Tabela 6 – Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para poluentes e suas concentrações	40
Tabela 7 – Índice de Qualidade do Ar.....	41
Tabela 8 – Configuração atual dos horários de pico	42
Tabela 9 – Componentes utilizados na elaboração do medidor de gases.....	63
Tabela 10 – Características do Módulo Cartão SD Card.....	73
Tabela 11 – Características do Cartão de Memória 8GB MicrosdSandisk	73
Tabela 12 – jumpers Macho-Macho e Macho- Fêmea	73
Tabela 13 – Especificações do Display LCD 20×4 Backlight Azul	74
Tabela 14 – Custo por componentes do MGA	74
Tabela 15 – Valores de RS/RL para MQ-9 com os valores do Medidor KR1000 CarbonMonoxide Meter (CO em ppm)	98
Tabela 16 – Valores de RS/RL para MQ-135 com os valores do Medidor KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade (CO ₂ em ppm)	99
Tabela 17 – Valores médios diários de Temperatura e Umidade do Ar.....	101
Tabela 18 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 1	106
Tabela 19 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 2	110
Tabela 20 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 1	117
Tabela 21 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 2	121
Tabela 22 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 3	124
Tabela 23 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM (janeiro -manhã).....	126
Tabela 24 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de janeiro à tarde	127
Tabela 25 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de julho pela manhã	129
Tabela 26 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de julho à tarde	130

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Geral	19
1.1.2	Específicos	19
2	REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	ATMOSFERA E SUA COMPOSIÇÃO	20
2.2	PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS A SAÚDE	24
2.2.1	Monóxido de carbono	25
2.2.2	Dióxido de carbono	26
2.2.3	Óxidos de nitrogênio	28
2.2.4	Dióxido de enxofre	29
2.2.5	Ozônio troposférico	30
2.2.6	Material particulado	30
2.3	EMIÇÃO VEICULAR	31
2.4	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	38
2.5	MOBILIDADE URBANA	41
2.6	ARDUÍNO	43
2.6.1	Tipos de Arduino	43
2.6.2	Shield	45
2.6.3	Aquisição de dados (DAQ)	46
2.7	SENSORES	46
2.7.1	Sensores Semicondutores de Gases	46
2.7.2	Sensores de Poluentes Atmosféricos	48
2.7.3	Tipos de Sensores de Gases	50
2.7.4	Características dos sensores de gás MQ-x	53
2.7.5	Sensor MQ-135	56
2.7.6	Sensores de Temperatura	57
2.8	INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA CAPTURA DO CARBONO	58
3	MATERIAL E MÉTODOS	60
3.1	DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	60
3.2	DADOS	61
3.2.1	Frota veicular	61
3.2.2	Emissões em marcha lenta	61

3.2.3	Totais anuais de emissão	62
3.2.4	Medidor de Gases Atmosférico Construído	62
3.2.5	Medição dos gases atmosféricos.....	63
3.3	METODOLOGIA	64
3.3.1	Análise da frota	64
3.3.2	Emissão veicular em marcha lenta	64
3.3.3	Emissões totais anuais.....	67
3.3.4	Construção do medidor de gases atmosférico (MGA).....	70
3.3.5	Medidas do Monóxido de Carbono e Dióxido de Carbono na atmosfera em três áreas distintas	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4.1	ANÁLISE DA FROTA	86
4.2	EMIÇÃO VEICULAR EM MARCHA LENTA	90
4.3	EMIÇÕES TOTAIS ANUAIS	94
4.3.1	Monóxido de Carbono	94
4.3.2	Dióxido de Carbono	96
4.4	MEDIDOR DE GASES ATMOSFÉRICO (MGA).....	98
4.4.1	Dados da calibração para o MQ-9 utilizando CO.....	98
4.4.2	Dados da calibração para o MQ-135 utilizando o CO ₂	99
4.5	MEDIDAS DO MONÓXIDO DE CARBONO E DIÓXIDO DE CARBONO NA ATMOSFERA	101
4.5.1	Temperatura (T) e Umidade Relativa do Ar (UR)	101
4.5.2	Medidas do Monóxido de Carbono	103
4.5.3	Medidas do Dióxido de Carbono com o KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade	114
4.5.4	Correlação do Dióxido de Carbono Utilizando KR7755 e MGA	131
4.6	CONCENTRAÇÃO DOS GASES E OS RISCOS À SAÚDE DA POPULAÇÃO	141
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
	REFERÊNCIAS	148
	ANEXO A – DATASHEET DO SENSOR MQ-9	159
	ANEXO B – DATASHEET DO SENSOR MQ-135.....	166

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o processo de urbanização se intensificou em muitas regiões do mundo, em sua maioria, pelo arrefecimento das atratividades nas metrópoles, tanto em qualidade quanto em quantidade, decorrentes da coexistência de atividades com níveis diferenciados de renda e opções de trabalho (MIRANDA, 2004). Em muitas cidades este crescimento populacional acontece desordenadamente de forma que a estrutura física da cidade não evolui no ritmo do crescimento populacional. Além disso, a expansão em algumas grandes cidades não é mais possível por fazerem fronteira com outros municípios.

Os espaços centrais disponíveis, dependendo de sua dimensão e localização, são utilizados para construções verticais de moradia, com poucos parques e áreas sem vegetação. Estes municípios periféricos tornaram-se opções alternativas tanto para implantação de indústrias como de residências, transformando a região em grandes aglomerados urbano e industrial. As plantas desempenham um papel importante no monitoramento e manutenção do equilíbrio ecológico, participando ativamente no ciclo de nutrientes e gases como dióxido de carbono, oxigênio, entre outros, como também na absorção e acúmulo de poluentes do ar para reduzir o nível de poluição no ambiente (UGWU, 2014). O crescimento populacional associado ao crescimento econômico das metrópoles traz consequências em diversos âmbitos, onde se pode destacar a crescente geração de resíduos devido ao elevado consumo, responsável por vários tipos de poluição: do solo, do ar e da água, de forma direta ou indireta. Produtos químicos perigosos escapam ao meio ambiente por uma série de atividades naturais e/ou antropogênicas e podem causar efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente (KAMPA; CASTANAS, 2008).

A poluição atmosférica, que afeta diretamente a qualidade do ar, mais intensamente nos grandes centros urbanos, tem-se constituído numa das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes (TEIXEIRA et al., 2008). Este tipo de poluição pode ser causado por fontes fixas ou móveis, dependendo dos processos que liberam os poluentes no ar (MUELLER, 2011).

Os problemas relacionados à saúde humana ocasionados pela poluição atmosférica são diversos. Podem ser percebidos através de doenças cardiorrespiratórias, alergias, desenvolvimento de cânceres e acréscimo das taxas de morbidade e mortalidade nas áreas urbanas (BRANCO; WALSH, 2005; SALDIVA et al., 1995). Dapper, Spohr e Zanini (2016) afirmam que a exposição à poluição atmosférica contribui para o aumento da mortalidade e morbidade, principalmente por doenças respiratórias e cardiovasculares. O estudo da qualidade do ar torna-se de grande valia para fins de prevenção e controle, sendo de grande importância

para correlacionar altas concentrações de poluentes e seus efeitos adversos à saúde humana (MATTOS et al., 2014; PING et al., 2015; SAYEG; MUNIR, 2017).

De acordo com Teixeira et al. (2008) as fontes veiculares têm uma participação acentuada na degradação da qualidade do ar atmosférico, principalmente em grandes centros urbanos. Os congestionamentos de grandes extensões nos horários de pico, com a redução da velocidade média do trânsito nos corredores de tráfego contribuem para maior consumo de combustível e consequentemente maior taxa de emissão dos poluentes.

A poluição veicular pode ser classificada em função da abrangência dos impactos causados pelos seus principais poluentes. Estes últimos quando locais, causam danos na área do entorno em que é realizado o serviço de transporte; por exemplo, os ruídos gerados pelos motores dos veículos e a fuligem expelida dos escapamentos que se acomodam nas ruas, nos passeios e nas fachadas dos imóveis. Podem-se considerar ainda nessa categoria os poluentes que se deslocam de uma região para outra pelas correntes de ar; no caso de gases que causam a chuva ácida, por exemplo, o efeito smog é a formação de uma névoa densa devido à grande concentração de ozônio (O_3) no ar (CARVALHO, 2011).

Os poluentes globais são gases que são expelidos para a atmosfera e acabam impactando todo o planeta por meio do aquecimento global, no caso da emissão de gases de efeito estufa (GEE). O principal poluente nessa categoria é o dióxido de carbono (CO_2), que serve também como unidade de equivalência para os demais GEE.

A vegetação contribui como uma das maiores fontes dissipadoras e de absorção do excesso de dióxido de carbono depositado na atmosfera, juntamente com os oceanos. As grandes florestas contribuem com a absorção de CO_2 reduzindo o Aquecimento Global (BELLASSEN.; LUYSSAERT; 2014). Áreas verdes nas grandes cidades contribuem com a redução da concentração de CO_2 de origem antrópica, por isso sua grande importância.

Desta forma, nas grandes cidades e regiões metropolitanas estudos relacionados às emissões veiculares acompanhadas de suas tendências temporais, como também das concentrações dos gases poluentes na atmosfera local são extremamente importantes. Esses estudos podem mostrar, além da atual situação da qualidade do ar da região, uma perspectiva futura visando medidas públicas de precaução.

Na Região Metropolitana do Recife (RMR), observa-se um crescimento industrial, veicular e populacional intenso, e por outro lado diminuição das áreas verdes. De acordo com o Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros (SUAPE, 2017) o desenvolvimento do Complexo Portuário de SUAPE, que faz parte da Região, nos últimos anos absorveu mais de 100 empresas, proporcionando um elevado crescimento industrial na região.

O Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE) em pesquisa realizada no ano de 2013 divulgou que, entre os principais setores de atividades econômicas, a construção civil apresentou um crescimento do número de ocupados, criando dois mil novos postos de trabalho entre setembro de 2012 e 2013 na RMR, o comércio com dois mil postos no mesmo período e o setor de serviços com nove mil vagas. Esse arrefecimento das atividades da cidade do Recife tem contribuído com o crescimento acelerado da população que também passou a ter um melhor poder de compra.

Muitos bairros do Recife passaram a ter elevada densidade populacional, redução de áreas verdes, aumentando a necessidade de mobilidade da população para a realização de suas atividades diárias. Essa necessidade pela mobilidade exige mais do transporte público, saturando o sistema viário e como consequência, reduzindo a qualidade do serviço prestado. O aprimoramento do transporte público não acompanhou o crescimento populacional da cidade. A utilização de automóveis passa a ser uma excelente solução para a questão de mobilidade. Em paralelo, nesse período, houve redução de impostos do setor automobilístico, visando a melhoria econômica desse setor. Sendo assim, a deficiência do transporte público juntamente com o crescimento econômico da população e os incentivos na venda de veículos contribuem com o crescimento acelerado da frota de automóveis na cidade do Recife.

Esse aumento da frota gera grandes concentrações de veículos dos mais diversos tipos gerando grandes congestionamentos, prejudicando de forma acentuada a mobilidade urbana e contribuindo com o aumento dos níveis de emissão veicular que causam a poluição atmosférica.

Para agravar a situação, sabe-se que a cidade do Recife recebe diariamente inúmeros automóveis de cidades circunvizinhas por se localizar entre dois outros grandes municípios, Olinda e Jaboatão. Esse crescimento da concentração de veículos principalmente nos horários considerados de pico contribui para a injeção de gases tóxicos na cidade do Recife, podendo estar comprometendo a qualidade do ar desta região. A injeção de gases poluentes na cidade pode ocasionar diversos problemas, desde formações de ilhas de calor, contribuição com o aquecimento global, até problemas relacionados ao trato respiratório.

Muitas vias, de grande movimentação veicular da cidade, não apresentam áreas verdes. A presença dessas áreas verdes contribui com a absorção de poluentes veiculares como o CO₂. Essa ausência faz com que cresça a concentração de poluentes veiculares na atmosfera.

Os problemas respiratórios se apresentam como uma das principais causas de internação e mortalidade na cidade do Recife. De acordo com Magalhães (2011) houve um incremento da mortalidade em relação à idade às doenças respiratórias na cidade do Recife e que as doenças

do aparelho respiratório representam a segunda causa de internações e a terceira causa de óbito na cidade do Recife.

Até que ponto, o crescimento da frota veicular compromete a qualidade do ar da cidade do Recife? De acordo com a CETESB (2018) a evolução tecnológica dos automóveis contribui com redução das emissões por veículo. Será que essa melhoria tecnológica está sendo suficiente para conter o crescimento das emissões devido ao aumento da frota? Mesmo que existam valores elevados de emissão veicular, será que esses poluentes permanecem próximos do solo prejudicando a população, ou se dissipam rapidamente?

São perguntas que torna imprescindíveis estudos relacionados às emissões veiculares na cidade do Recife, pois a mesma apresenta um potencial crescimento da frota de automóveis e um real crescimento de doenças relacionadas ao trato respiratório.

Este trabalho analisa a concentração de gases poluentes na atmosfera do Recife-PE relacionando essas concentrações presentes na atmosfera com as emissões da frota de automóveis da cidade, levando em consideração a evolução tecnológica dos veículos. Esse estudo poderá ser utilizado como instrumento de gestão ambiental, mostrando a importância de redução da emissão desses gases por diversas razões, aumento das áreas verdes, que irão contribuir com a qualidade de vida da população.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Analisar a concentração dos gases poluentes na baixa atmosfera emitidos por veículos automotivos na cidade do Recife- PE, visando identificar a influência dessas emissões na qualidade do ar da cidade.

1.1.2 Específicos

1. Avaliar a evolução da frota modal veicular em Recife- PE.
 1. Analisar os dados de emissão em marcha lenta (veículos ligados em repouso) dos gases Hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono mostrando sua evolução com o passar dos anos.
 2. Calcular os valores totais anuais de emissão dos gases Monóxido de Carbono e Dióxido de Carbono por tipo de veículos e de combustível.
 3. Construir um dispositivo para a medição do Monóxido de Carbono e do Dióxido de Carbono atmosférico.
 4. Aferir as concentrações de Monóxido de Carbono e Dióxido de Carbono na cidade do Recife – PE, comparando as concentrações dos gases poluentes com os valores limites nacionais estabelecidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ATMOSFERA E SUA COMPOSIÇÃO

A atmosfera pode ser definida como uma camada fina de gases, sem cheiro, sem cor e sem gosto, presa a terra pela força da gravidade (AYOADE, 1996). É composta por 78% de nitrogênio (N_2), 21% de oxigênio (O_2) e 0,93% de argônio (Ar). O restante, menor que 0,1%, contém muitos gases traços pequenos, mas importantes, incluindo vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2) e ozônio (O_3) (SCHLATTER, 2009).

Todos esses gases têm importantes efeitos no clima da Terra. A atmosfera pode ser dividida em camadas verticais determinadas pela maneira como a temperatura muda com a altura.

A camada mais próxima da superfície é a troposfera, que contém mais de 80% da massa atmosférica e quase todo o vapor de água. A camada seguinte, a estratosfera, contém a maior parte do O_3 da atmosfera, que absorve radiação de alta energia do sol e torna possível a vida na superfície.

Acima da estratosfera estão a mesosfera e a termosfera. Essas duas camadas incluem regiões de átomos e moléculas carregadas, ou íons. Chamada de ionosfera, esta região é importante para as comunicações de rádio, uma vez que as ondas de rádio podem saltar da camada e percorrer grandes distâncias (HOWELL, 2019). Acredita-se que a atmosfera atual tenha se desenvolvido a partir de gases ejetados por vulcões (SCHLATTER, 2009; TANGA et al., 1998). O O_2 , do qual depende toda a vida animal, provavelmente se acumula como emissões excedentes de plantas, principalmente oceânicas, que o produzem como um produto residual durante a fotossíntese. As atividades humanas podem estar afetando os níveis de alguns componentes atmosféricos importantes, particularmente o CO_2 e o O_3 .

Outros gases existem em proporções muito pequenas como o neônio (Ne), criptônio (Kr), o hélio (He), o metano (CH_4), etc. De acordo com Barry e Chorley (2003) a distribuição dos gases na atmosfera abaixo de 25 quilômetros, medidos em relação à superfície da terra, esta representada no Tabela 1.

Tabela 1 – Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 quilômetros.

Gás	Volume % (ar seco)
Nitrogênio(N ₂)	78,08
Oxigênio (O ₂)	20,94
Argônio (Ar)	0,93
Dióxido de carbono (CO ₂)	0,037
Neônio (Ne)	0,0018
Hélio (He)	0,0005
Ozônio (O ₃)	0,00006
Hidrogênio (H)	0,00005
Criptônio (Kr)	0,0011
Xenônio (Xe)	0,00009
Metano (CH ₄)	0,00017

Fonte: Barry e Chorley, 2003.

O N₂ é inerte, não reagindo com outras substâncias para formar novos compostos químicos. O O₂, representa cerca de 21% da atmosfera. O O₂ é necessário para a respiração (respiração) de toda a vida animal na Terra, de humanos a bactérias. Em contraste com o N₂, o O₂ é extremamente reativo, Participando da oxidação, um tipo de reação química que pode ser observada em todos os lugares.

O CO₂ afeta o clima da Terra e desempenha um grande papel de apoio na biosfera. Utilizado para a fotossíntese, processo de usar a luz solar para armazenar energia como açúcares simples, do qual depende toda a vida na Terra. As plantas sintetizam compostos orgânicos utilizando a luz como fonte de energia. A energia fixada via fotossíntese é armazenada em compostos orgânicos os quais são utilizados no metabolismo celular da planta. A exceção da energia fixada por microrganismos quimiossintetizadores, a energia fixada pelas plantas durante a fotossíntese constitui a base da cadeia alimentar do planeta (MARENCO et al., 2014).

O CO₂ também está envolvido na respiração dos vegetais. Para sua sobrevivência, os vegetais devem respirar em todos os momentos. A fotossíntese usa a energia da luz solar e o CO₂ no ar para produzir O₂. A respiração usa O₂ e produz CO₂.

Os vegetais absorvem a energia de que necessitam através da respiração aeróbica, que é uma reação química que usa o O₂ no ar e a glicose de dentro da planta para formar CO₂ e água. A respiração dos vegetais que ocorre durante o dia é menor do que a respiração noturna. Durante o dia, com a presença da luz solar, a taxa de fotossíntese excede a taxa de respiração, enquanto que na ausência da luz solar, a taxa de fotossíntese tende a zero, mas a respiração continua. Em geral, as plantas produzem mais O₂ que o CO₂ e é por isso que a vida das plantas é essencial para a vida animal (GOUGOULIAS; CLARK; SHAW, 2014).

O CO₂ também faz parte de uma classe de compostos chamados gases de efeito estufa. Esses gases são compostos de moléculas que absorvem e emitem radiação infravermelha, que sentimos como calor (TACO, 2006; GAUTAM, 1995). A energia solar irradiada do sol é principalmente na faixa visível, dentro de uma faixa estreita de comprimentos de onda. Essa radiação é absorvida pela superfície da Terra, e então retrocedida de volta ao espaço, não como luz visível, mas como radiação infravermelha de maior comprimento de onda. As moléculas de gases de efeito estufa absorvem parte dessa radiação antes que ela escape para o espaço, e reemitem parte dela de volta para a superfície. Desta forma, estes gases retêm parte do calor que escapa e aumentam a temperatura global da atmosfera. Se a atmosfera não tivesse gases de efeito estufa, estima-se que a superfície da terra teria uma redução de temperatura em seu valor médio (STEHFEST et al., 2011). As mudanças climáticas observadas ultimamente, apesar da grandepolêmica sobre o grau de influência das ações do homem, vêm gerando grandes discussões sobre os compromissos dos países com a redução da emissão de gases do efeito estufa, principalmente do CO₂ que tem o setor de transporte como uma das principais fontes de emissão (CARVALHO, 2011). O Protocolo de Quioto, assinado e ratificado pelo Brasil, estabelece que os países desenvolvidos signatários tenham prazo para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, o que trará grandes responsabilidades ao setor de transporte. Apesar de o país não fazer parte do Anexo I do protocolo, sempre foi muito cobrado para reduzir suas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), além de poder se beneficiar dos mecanismos criados de financiamento externo a projetos de mitigação das emissões realizados em território brasileiro.

O vapor de água é encontrado na atmosfera em quantidades pequenas e altamente variáveis. Embora esteja quase ausente na maior parte da atmosfera, sua concentração pode variar até 4% em áreas muito quentes e úmidas próximas à superfície. Apesar de sua relativa escassez, a água atmosférica provavelmente tem mais impacto sobre a terra do que qualquer um dos principais gases, além do O₂ (BOUCHER; MYHRE; MYHRE, 2004).

O vapor de água participa do ciclo hidrológico, o processo que move a água entre os oceanos, as águas da superfície terrestre, a atmosfera e as calotas polares. Este ciclo da água impulsiona a erosão e a erosão das rochas, determina o clima da Terra e estabelece condições climáticas que tornam as áreas de terra secas ou úmidas, habitáveis ou inóspitas. Quando resfriado o suficiente, o vapor de água forma nuvens condensando-as em gotas de água líquida ou, em temperaturas mais baixas, em cristais de gelo sólidos. Além de criar chuva ou neve, as nuvens afetam o clima da Terra, refletindo um pouco da energia que vem do sol,

proporcionando uma menor temperatura para o planeta. O vapor de água também é um importante gás de efeito estufa. Está concentrado perto da superfície prevalecendo nos trópicos.

O O_3 é um dos gases naturais que compõe a atmosfera. É encontrado, em sua maior parte, em camadas superiores de aproximadamente 15 a 60 km de altitude, sendo cerca de 10% na troposfera. Esta grande quantidade de O_3 nos limites da estratosfera recebe o nome de “camada de ozônio” (FAHEY, 2007). Apesar desse elemento ser nocivo para as pessoas, é vital para a vida na Terra.

O O_3 absorve a maior parte da radiação de alta energia do sol que é prejudicial para as plantas e animais. Uma parte da energia irradiada pelo sol está na região ultravioleta principalmente tipo C (UV-C). Essa radiação de menor comprimento de onda é responsável pelos bronzeadores, e é suficientemente poderosa, prejudicando as células, causando cânceres de pele.

As moléculas de O_3 , juntamente com as moléculas de O_2 , absorvem quase todos os raios ultravioletas (UV) de alta energia (alta frequência), protegendo a superfície da Terra. As moléculas de O_2 atmosférico absorvem radiação UV de alta energia. Ao fazer isso, cada molécula absorvente se divide em dois átomos de oxigênio. Os átomos de oxigênio eventualmente colidem com outra molécula de O_2 , formando uma nova molécula de O_3 (uma terceira molécula é necessária na colisão para levar o excesso de energia).

O O_3 , por sua vez, pode absorver UV de um comprimento de onda ligeiramente maior, o que elimina um de seus átomos de oxigênio e deixa o O_2 . O átomo de oxigênio livre, sendo muito reativo, irá se recombinar quase imediatamente com outro O_2 , formando mais O_3 . As duas últimas etapas deste ciclo continuam se repetindo, mas não criam nenhum novo composto químico; eles só reagem para absorver a radiação UV.

A quantidade de O_3 na estratosfera é pequena. Se tudo fosse transportado para a superfície, o gás O_3 formaria uma camada de cerca 2,5 a 4,0 mm de espessura. Esta camada, por mais fina que seja, é suficiente para proteger as pessoas da radiação solar nociva (THONG; MAIBACH, 2008).

Além dos gases, a atmosfera tem uma grande variedade de minúsculas partículas suspensas no ar, conhecidas coletivamente como aerossóis. Essas partículas podem ser líquidas ou sólidas, e são tão pequenas que podem existir por longos períodos.

Exemplos de aerossóis incluem pedaços de solo suspenso ou areia do deserto, minúsculas partículas de fumaça de um incêndio florestal, partículas de sal que sobraram depois que uma gotícula de água do oceano evaporou, pólen de plantas, plumas de poeira vulcânica e partículas formadas pela poluição criada por um carvão usina de queima. Os aerossóis afetam

significativamente o balanço de calor atmosférico, o crescimento das nuvens e as propriedades ópticas.

Os aerossóis cobrem uma faixa de tamanho muito ampla. Pingos de chuva suspensos em uma nuvem têm cerca de 1 mm a 6 mm de diâmetro. Gotas de areia e nuvem de deserto podem atingir cerca de 0,01 mm de diâmetro. Partículas de sal marinho e partículas de fumaça são 1/100 deste, cerca de 0,0001 mm, ou 0,1 micrômetro, de diâmetro (1 micrômetro = um milésimo de milímetro). Menor de todas são as partículas que se formam quando certos gases se condensam; isto é, quando várias moléculas de gás se juntam para formar um aglomerado estável. Estes são os núcleos de Aitkin (Pequenas partículas inferiores a 0,1 μm), cujos diâmetros podem ser medidos até alguns nanômetros (1 nanômetro = um milionésimo de milímetro).

Alguns aerossóis são do tamanho certo para espalhar a luz solar de maneira eficiente, tornando a atmosfera nebulosa. Sob as condições corretas, os aerossóis atuam como pontos de coleta de moléculas de vapor de água, estimulando o crescimento de gotículas de nuvens e acelerando a formação de nuvens. Eles também podem desempenhar um papel no clima da Terra; sabe-se que os aerossóis refletem uma parte da radiação solar que chega ao espaço, o que reduz a temperatura da superfície da Terra (KOBAYASHI et al., 2014; MORAWSKA et al., 1999).

2.2 PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS A SAÚDE

No início do século XX acreditava-se que a composição do ar atmosférico seria constante, não comprometendo a vida no planeta, sendo um tema não debatido em todo o mundo (RUSSO, 2010). Mas como advento da revolução industrial, novas fontes de poluentes surgiram, queimando combustíveis fósseis alimentando motores a combustão e indústrias, sem nenhum tipo de acompanhamento no que diz respeito aos possíveis danos que esses poluentes poderiam causar à saúde humana (COELHO, 2007; MARIO, 2012).

Esse crescimento da combustão de combustíveis fósseis no século passado é o responsável pela mudança progressiva na composição atmosférica (KAMPA; CASTANAS, 2008).

A Poluição atmosférica, que afeta diretamente a qualidade do ar, mais intensamente nos grandes centros urbanos, tem-se constituído numa das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes (TEIXEIRA, 2008). Diversos estudos mostram que a relação entre a poluição

atmosférica e a saúde da população é uma realidade, mesmo quando os níveis médios de poluentes não são tão altos (GOUVEIA, 2003).

A poluição do ar ambiente contribui substancialmente para a carga global de doenças, que aumentou nos últimos 25 anos, como resultado de tendências demográficas e epidemiológicas e níveis crescentes de poluição do ar em países de baixa e média renda. Caso essas tendências continuem, grandes reduções nos níveis de poluição serão necessárias para evitar o aumento do ônus da doença (COHEN, 2017).

Os efeitos nocivos à saúde humana, causados por poluentes atmosféricos, podem variar desde mudanças fisiológicas e bioquímicas como a episódios de sinusite, hipertensão, ardência nos olhos, estresse, dificuldade de respirar, tosse e agravamento de doenças respiratórias e cardíacas já existentes (GIODA, 2006). De acordo com Kampa e Castanas (2008) a poluição do ar tem efeitos agudos e crônicos na saúde humana, afetando vários sistemas e órgãos diferentes. Ela varia de irritação respiratória superior secundária a doenças respiratórias e cardíacas crônicas, câncer de pulmão, infecções respiratórias agudas em crianças e bronquite crônica em adultos, agravando doenças cardíacas e pulmonares preexistentes ou ataques de asma. Além disso, exposições a esses poluentes atmosféricos, a curto e longo prazo também são relacionadas à mortalidade prematura e à redução da expectativa de vida (KAMPA; CASTANAS, 2008).

Os principais poluentes gasosos na atmosfera são gases contendo: carbono, enxofre, nitrogênio e O_3 . De acordo com Filho (1989), os principais gases contendo carbono são Monóxido de Carbono (CO) e CO_2 . Contendo enxofre destaca-se o Dióxido de Enxofre (SO_2). Outros poluentes do ar contendo enxofre são o sulfato de hidrogênio (H_2S) os quais podem ser produzidos pela decomposição de matéria orgânica e os mercaptanas (carbono, enxofre e composto de hidrogênio). Todos esses compostos, diferem em sua composição química, propriedades de reação, emissão, tempo de desintegração e capacidade de difusão em longas ou curtas distâncias.

2.2.1 Monóxido de carbono

O CO_2 é membro da família dos asfixiantes químicos. É Incolor, inodoro, sem sabor e não irritante. Produzido pela combustão incompleta de matérias carbonáceas orgânicas, como o carbono, a madeira, o papel, o óleo, o gás e a gasolina (IPCS, 1999; NIOSH, 1981; PENNEY, 2000; WHO, 1979). De acordo com Lacerda et al (2005) o escapamento dos veículos à combustão é responsável pela emissão de grandes concentrações de CO. É resultante da

combustão na qual a quantidade de ar é insuficiente para uma queima completa do combustível. Quanto menor a porcentagem de CO melhor é a queima. O CO, sendo absorvido pelo sangue causa uma diminuição do transporte de oxigênio até os tecidos (CASTRO, 2003). Como existe uma grande afinidade do CO pela heme da hemoglobina e mioglobina, podemos dizer que seria um componente tóxico.

Uma intoxicação crônica ao CO é o resultante de uma exposição prolongada a baixas concentrações, ocasionando efeitos tóxicos cumulativos como, fadiga, distúrbios visuais, isquemia cardíaca, cefaleia, insônia, tonturas, vertigens, náuseas, vômitos, alterações auditivas, doenças respiratórias, anorexia, síndrome de Parkinson, cardiopatias e arteriosclerose (FREITAS; BREMNER; GOUVEIA, 2004).

Graves efeitos de intoxicação podem ocorrer ao ingerir CO. Existem registros de casos severos de intoxicação, incluindo lesões neurológicas que podem deixar sequelas e causar mortes (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002). Altas concentrações de monóxido de carbono podem afetar o desenvolvimento do feto, uma vez que a hemoglobina do feto se combina mais rapidamente com o monóxido de carbono, razão pela qual, às vezes, ocorre sua morte, enquanto a exposição não é fatal à mãe (VARON et al., 1999).

2.2.2 Dióxido de carbono

O CO₂ resulta naturalmente da reação de combustão. Sua elevada concentração no escapamento indica uma melhor combustão (BICKERT; KAMPKER; GREGER, 2015). Em baixas concentrações não representa perigo à saúde humana já que, juntamente com a água, é um produto natural da respiração. O seu excesso é o problema. Quanto emitido para a atmosfera, em quantidades além do poder de assimilação do meio ambiente, torna-se nocivo à saúde humana. A espécie humana já está sendo prejudicada em ambientes internos e isso pode piorar com o aumento dos níveis de CO₂ no meio exterior. A circulação do ar externo em ambientes internos é fundamental para a redução dos níveis de CO₂. Se, nos ambientes externos, os níveis também forem altos, a redução em ambientes internos não acontecerá mais (BIERWIRTH, 2018).

A incidência e a prevalência de calcificação renal humana (chamadas pedras nos rins) estão aumentando globalmente atingindo mais os homens (ROMERO; AKPINAR, 2010). Embora isso possa não estar relacionado, é possível que os níveis crescentes de CO₂ sejam uma causa contribuinte.

Existem evidências de que a toxicidade do CO₂ contribui para uma série de sérios problemas de saúde, incluindo câncer, doenças neurológicas e distúrbios do sono. Esses casos de problemas relacionados ao CO₂ na atualidade chegam a ser 40% maiores do que, no período anterior à revolução industrial (BIERWIRTH, 2018).

Os problemas do CO₂ entre 600 e 1.000 ppm (partes por milhão) variam entre dores de cabeça, fadiga e comprometimento das habilidades cognitivas. Afeta diretamente as pessoas em sua vida social, em seus empregos, principalmente aqueles com excesso de responsabilidades, por exemplo, cirurgiões, controladores de tráfego aéreo, motoristas, dentre outros. Níveis mais altos de CO₂, em torno de 2.000 ppm a 5.000 ppm provocam o esforço do organismo na tentativa de compensar o aumento da acidez no sangue. Estes efeitos incluem calcificação do rim, degradação óssea e distúrbios do fluxo sanguíneo cerebral. (SATISH et al., 2012).

É provável que a toxicidade do CO₂ relacionada à mudança climática, induzida pelo homem já tenha um impacto não reconhecido na saúde da população. Não são apenas os humanos que sofrem as consequências. Foi demonstrado que os animais têm diferentes graus de suscetibilidade ao dióxido de carbono (SCHAEFER et al., 1971). Os impactos do CO₂ elevado são ainda maiores para animais que respiram na água do que animais que respiram na atmosfera. Em geral, os animais terrestres têm muito mais CO₂ no sangue do que animais aquáticos e pode compensar a hipercapnia aumentando a ventilação. Em animais aquáticos, a compensação pelo aumento da ventilação é rara e um pequeno aumento na causa acidose hipercápnica (KNOLL et al., 1996; MCNEIL; SASSE, 2016; PORTNER; LANGENBUC; REIPSCHLAGER, 2004). Estudos demonstraram que a hipercapnia (aumento do gás carbônico no sangue arterial) no peixe produz uma substancial alteração neurológica, comportamental e efeitos fisiológicos (ISHIMATSU et al., 2005; HEUER; GROSELL, 2014) para exposições a curto prazo em uma concentração equivalente de CO₂ de 650 ppm (MCNEIL; SASSE, 2016).

Uma importante implicação da existência de CO₂ em áreas urbanas é que as cidades se tornam "Laboratórios naturais" para determinados estudos de impactos da mudança global (IDSO; SHERWOOD; BALLING, 2002).

A elevada concentração de CO₂ atmosférico poderia ser utilizada no estudo de fertilização, que estimula o crescimento de plantas herbáceas de 30% a 40% com um aumento da concentração de CO₂ de 300 ppm no ar (KIMBALL, 1983). Espécies lenhosas aumentam seu crescimento de 50% a 100% ou mais com o mesmo acréscimo de CO₂ (IDSO, 1999). Juntamente com os impactos das ilhas de calor urbano, estudos de alta concentração de CO₂ poderiam também ser empregados para determinar como os aumentos simultâneos de temperatura do ar contendo CO₂ pode afetar a vegetação, proporcionando assim uma

oportunidade única para perscrutar o futuro e avaliar algumas das consequências de mudanças ambientais (HOUGHTON et al., 1996).

2.2.3 Óxidos de nitrogênio

A representação NO_x é utilizada para se referir a todos os composto de nitrogênio conhecidos naturalmente. No que se refere à poluição atmosférica, apenas dois compostos são de grande importancia: Óxido Nítrico ou Monóxido de Nitrogênio (NO) e o Dióxido de Nitrogênio (NO₂). O NO é um gás tóxico incolor que reage espontaneamente com o O₂ e intensamente com o O₃, formando o NO₂. Este NO₂ é um gás avermelhado, altamente tóxico, extremamente reativo e forte agente oxidante. Ambos são os componentes mais emitidos em gases de combustão (CORONADO; CARVALHO; SILVEIRA, 2009).

Temos também o óxido nitroso (N₂O - protóxido de nitrogênio ou gás hilariante) que é um gás incolor e de efeito anestésico sendo o mais abundante dos compostos atmosféricos, sendo o maior componente do efeito estufa na estratosfera (SILVA, 2008).

Normalmente, os gases oriundos dos processos de combustão apresentam baixíssimas concentrações de NO₂ em comparação com os valores elevados de NO, mas em contato com o oxigênio do ar reagem rapidamente para formar o NO₂. Dessa forma, as taxas de emissão são sempre calculadas considerando os dois compostos como sendo unicamente NO₂ (BAUKAL, 2001).

As emissões de NO_x contribuem diretamente para a degradação do meio ambiente através de vários processos, dentre eles, a deposição ácida, formação de O₃ troposférico, que tem as suas concentrações elevadas até cerca de 200 vezes a concentração do O₃ em relação a atmosferas não poluídas, e o aumento da concentração de gases do efeito estufa. O excesso de nitrogênio provoca a eutrofização, principalmente em áreas costeiras. Para alguns pesquisadores, a longo prazo, as emissões de NO_x ameaçam mais a saúde pública e o meio ambiente do que as emissões de óxidos de enxofre (SO_x) (SILVA, 2008).

Os efeitos da chamada chuva ácida são a acidificação do solo provocando a degradação dos biomas, a acidificação da água, reduzindo a diversidade e quantidade de peixes nos lagos e rios, desfolhamento das árvores, corrosão de monumentos e edifícios históricos, uma vez que atacam diversos materiais como aço, tintas, plásticos, cimento e vários tipos de pedra, além de reduzir os rendimentos agrícolas.

A infiltração da chuva ácida no solo, libera metais potencialmente tóxicos, tais como alumínio, chumbo e cádmio, que dessa forma podem ser introduzidos na cadeia alimentar (PNUMA, 2002).

2.2.4 Dióxido de enxofre

Dióxido de enxofre (SO_2) é um gás de forte odor, incolor e muito irritante em superfícies úmidas. Em contato com água se transforma em trióxido de enxofre (SO_3) e passa rapidamente a ácido sulfúrico (H_2SO_4). Emitido para a atmosfera por fontes antropogênicas e vulcanismo. Ação antrópica contribui com a emissão do SO_2 , principalmente através das atividades industriais que processam materiais contendo enxofre, como termelétricas, fabricação de fertilizantes, fundição de alumínio e aço, produção de ácido sulfúrico, agente redutor na metalurgia, desinfetante e branqueador, entre outros (IAP, 2017). A queima de combustíveis fósseis emite SO_2 . Sendo assim, emissões veiculares são fontes de SO_2 . O SO_2 presente na atmosfera pode formar chuva ácida e é precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis (Material Particulado). Os sulfatos incorporados aos aerossóis podem causar acidificação de corpos d'água, redução da visibilidade, corrosão de edificações, monumentos, estruturas metálicas e condutores elétricos. A principal maneira de exposição da população ao SO_2 é através das vias respiratórias (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012).

Os altos níveis de exposição ao SO_2 podem provocar dificuldade respiratória, alteração na defesa dos pulmões, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. De acordo com Ribeiro e Assunção (2002) a inalação do SO_2 pode interferir, dificultando a eliminação de partículas inertes e de bactérias dos pulmões. Aumenta a produção de secreção e causa maior resistência das vias aéreas. Como ele é solúvel em meio líquido, quando inalado, é absorvido e transportado para o sistema sanguíneo, sendo distribuído por todo o corpo, metabolizado e removido pelo sistema urinário. Esse composto irrita o nariz, garganta e pulmões causando tosse, falta de ar e crises de asma (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012). Quando a capacidade de absorção das vias aéreas superiores é ultrapassada por altas concentrações, pode ocorrer edema pulmonar e até morte (WHO, 1979).

De acordo com a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 2017), o SO_2 é classificado como não classificável quanto a carcinogenicidade para seres humanos. Esta categoria comumente é utilizada para agentes dos quais a evidência de carcinogenicidade é inadequada para o ser humano, e inadequada ou limitada para animais de experimentação.

2.2.5 Ozônio troposférico

De acordo com Jerrett et al. (2009) uma pesquisa realizada, com uma amostra de 500 mil pessoas, por pesquisadores da Universidade de Berkley, mostra que em regiões com alta concentração de O_3 na troposfera, formadas pelos elementos chamados precursores do O_3 , principalmente os NO_x e hidrocarbonetos (HC) liberados na queima dos combustíveis fósseis, a probabilidade de uma pessoa morrer por problemas respiratórios aumentam em 30%, e a cada 10 pontos percentuais de aumento na concentração de O_3 este índice aumenta em 4%. Segundo a pesquisa, são quase oito milhões de mortes por ano por causas respiratórias no mundo.

Altas concentrações de O_3 podem causar dificuldade na respiração de crianças e de adultos, aumento na frequência de ataques de asma, redução do desempenho de atletas, stress adicional em pacientes com doenças pulmonares obstrutivas crônicas, inflamação dos pulmões (MABAHWI; LEH; OMAR, 2015).

Ribeiro e Assunção (2002), em seu trabalho, descreve que não se tem certeza sobre exposições constantes ao O_3 causar lesões irreversíveis aos pulmões.

Estudos estão sendo desenvolvidos para se avaliar os efeitos de exposições repetidas e intermitentes ao O_3 nos índices de lesão pulmonar, inflamação e fibrose. A exposição controlada de indivíduos fazendo exercícios por algumas horas em concentrações de 0,08ppm causou diminuição reversível da função pulmonar, tosse, desconforto no peito, inflamação nos pulmões (BASCOT et al., 1996).

Os exercícios físicos aumentam a concentração nos pulmões por aumentarem a ventilação e alterarem o padrão de inalação e absorção nas vias aéreas. Função respiratória diminuída em atletas e crianças que inalaram O_3 em atividade física foi registrada em inúmeros estudos. De acordo com National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES, 2019) concentrações médias anuais de ozônio maiores que 0,04ppm causam diminuição do fluxo expiratório em um nível considerado quando se comparado ao de um ar limpo.

2.2.6 Material particulado

O material particulado (MP) é formado por uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, a sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. O tamanho das partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico (DOCKERY; POPE, 1994).

Arbex (2001) em seu trabalho sobre MP afirma que as partículas grandes, com diâmetro entre 2,5 e 30 μm de diâmetro, também chamadas “tipogrosso” (coarse mode), são formadas

através de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, que apresentam características básicas, contendo silício, titânio, alumínio, ferro, sódio e cloro.

Partículas derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoeletricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que $2,5\mu\text{m}$ (fine mode) e têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes temos carbono, chumbo, vanádio, bromo, óxidos de enxofre (SO_x) e NO_x , que na forma de aerossóis (uma estável mistura de partículas suspensas em um gás), são a maior fração das partículas finas.

Partículas menores ou iguais a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}), também chamadas de partículas inaláveis, são as partículas que podem atingir as vias respiratórias inferiores. Este MP inalável apresenta uma característica importante que é a de transportar gases adsorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão (ARBEX, 2001).

2.3 EMISSÃO VEICULAR

As emissões veiculares são compostas por gases como: CO , CO_2 , NO_x , HC não queimados, SO_x , PM_{10} , dentre outros, que são lançados à atmosfera através da combustão ou queima incompleta do combustível (LÓPEZ et al., 2009).

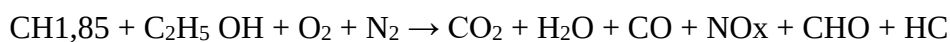
Os veículos automotivos utilizam motores de combustão interna, sendo classificados em duas categorias:

- Motores de ignição por faísca (ciclo de Otto) – uma centelha inicia o processo de combustão interna, utilizando como combustível gasolina, álcool e gás natural veicular.
- Motores de combustão espontânea (ciclo Diesel) – A compressão do ar, aquecendo-o para a injeção do combustível na fase líquida, é a responsável pela combustão. O combustível utilizado é o óleo diesel.

De acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (BICKERT; KAMPKER; GREGER, 2015) a queima completa para o ciclo de Otto temos:



Mas na queima real:



Na queima real observa-se uma grande quantidade de gases emitidos diferentemente da queima completa que elimina CO_2 e água. Alguns gases são indicadores de uma queima mais completa. Por exemplo, os HC são gases resultantes da combustão incompleta (queima não ideal). É resultante das partes fracionadas das cadeias longas do combustível que não se oxidaram. Quanto menor a concentração dos HC melhor a combustão (BICKERT; KAMPKER; GREGER, 2015).

Em uma queima ideal, não existe emissão de CO. Mas em uma queima real, esse componente aparece. A redução da emissão do CO representa uma melhoria no processo de mistura (combustível + ar) na câmara de combustão, diminuindo o percentual de combustível em relação à quantidade de oxigênio. Essa redução do CO acarreta um aumento de CO_2 devido à maior quantidade de átomos de oxigênio interagindo com átomos de carbono (TANGESTANI; MEGHDADI, 2019).

Observa-se que a emissão de CO_2 é um processo natural em uma queima ideal. Em uma queima real, uma redução na concentração de CO_2 pode representar uma evolução tecnológica na injeção de combustível, já que uma diminuição da quantidade de combustível na câmara de combustão reduz a emissão de CO_2 , como também uma melhoria dos catalisadores dos veículos (HURTADO; SOUZA, 2013; MILHOR, 2002).

Trabalhos em vários locais do mundo mostram a influência do desenvolvimento tecnológico nas emissões automotivas.

Prakash et al (2017) em seu trabalho On-Road Emissionsof CO, CO_2 and NO_x From Four WheelerandEmissionEstimates for Delhi, apresenta o fator de emissão de CO, CO_2 , e NO_x (um precursor do aerossol) de 14 veículos a diesel, gasolina e gás natural comprimido (GNC). As medições ocorreram no Instituto Indiano de Tecnologia (IIT) Delhi. Analisou o consumo de combustível com relação à sua idade e quilometragem. Um carrinho reboque, equipado com equipamentos de medição foi acoplado ao veículo a ser analisado. Uma sonda foi colocada no escape do veículo para coletar os gases. O carrinho seguiu os veículos dirigidos pelos seus proprietários em a rota fixa de 3,9 km dentro do IIT Delhi Campus. As concentrações de poluentes gasosos CO, CO_2 e NO_x foram medidas em ppm.

Para veículos à Diesel, as concentrações de CO foram menores e as emissões de NO_x foram mais altas para os carros novos (pós 2010) quando comparados com carros mais antigos (pós 2005). O resultado implica que o avanço tecnológico dos veículos de passageiros movidos a diesel reduziu o CO emitido, no entanto, ao mesmo tempo, as emissões de NO_x aumentaram. É provável que esse aumento seja consequência do uso do turbo compressor em carros a diesel, para atingir a combustão a altas temperaturas.

Curiosamente, o CO₂ e as emissões de NO_x foram maiores em relação aos veículos novos (após 2010) e menor para os veículos antigos (pós 2005), enquanto CO mostrou diferentes tendências e foi mais alto para veículos antigos (pós 2005) e menor para veículos novos (pós 2010). Os avanços tecnológicos não só melhoraram eficiência dos veículos, como também reduziram as emissões de CO e NO_x.

A idade e os níveis de manutenção dos veículos são fatores importantes na avaliação das emissões. Mais medições cobrindo ampla gama de veículos de diferentes grupos etários, capacidade do motor e nível de manutenção são necessários para definir melhor os fatores de emissão e melhorar as estimativas. O comportamento dos poluentes oriundos de emissões veiculares pode apresentar variação, dependendo da região onde a medida seja realizada.

Fatores como temperatura, umidade relativa, processos atmosféricos com inversão térmica, incidência solar, presença de vegetação, dentre outros podem influenciar nas concentrações próximas ao solo (IDSO et al, 2002).

No trabalho, Idso et al (2002) mediu a concentração de CO₂ atmosférico, umidade relativa, temperatura e velocidade do vento, durante a maior parte do ano, em uma área residencial de um subúrbio de Phoenix, AZ. As medições de CO₂ foram realizadas próximo à superfície (2 m de altura), registradas em intervalos de 5 segundos onde foram tiradas médias a cada 1 minuto. Foi estabelecido um monitoramento permanente no centro da cidade e numa região mais afastada, a maior área residencial de Phoenix.

Pensando na qualidade do estudo e a facilidade nas discussões dos dados, analisou as concentrações de CO₂ nos horários onde ele achou que as concentrações diárias eram máximas e mínimas: 05:00 as 06:00 e 14:00 as 15:00 h, respectivamente, comparando períodos quentes e frios. No entanto, os resultados mostraram que o valor máximo da estação fria ocorre às 22:00 da noite. De modo geral, as concentrações CO₂ urbano são maiores durante a noite e nos períodos de inverno, e são menores durante dia e nos períodos de verão.

As concentrações mínimas diárias de CO₂, que ocorreram durante a tarde, foram quase invariáveis ao longo do ano, com uma média de $390,2 \pm 0,2$ ppm. As concentrações máximas diárias de CO₂ ocorreram à noite, variando sazonalmente com a temperatura do ar, apresentando um pico médio de 490,6 ppm cerca de 2 h antes da meia-noite durante a parte mais fria do ano (dezembro-janeiro) e 424,3 ppm pouco antes do nascer do sol a parte mais quente do ano (julho-agosto). Os resultados mostram um pico médio de estação fria de 619,3 ppm, que é 67,4% maior que o valor da parte rural. No local residencial, no entanto, o máximo de estação fria média foi apenas 32,6% maior do que a média rural circundante. A média durante toda a noite, este aumento caiu para 25,4% na estação fria e 10,9% na estação quente, enquanto que durante o

período do dia a média foi de 10,5% e 10,1% nas estações fria e quente, respectivamente. As concentrações de CO₂ foram maiores nos dias da semana do que nos finais de semana tanto na estação quente como na estação fria. Durante o pico do tráfego matinal, a diferença máxima de CO₂ entre os dias da semana e os finais de semana foi de 35,9 ppm na estação fria e 22,0 ppm na estação quente.

De acordo com o autor, concentrações mais altas de certos poluentes do ar podem ser um fator de confusão na pesquisa. Foi identificado na pesquisa que as altas concentrações de CO₂ na região urbana da cidade de Phoenix, AZ, possuem com principal origem, fontes veiculares.

Os principais fatores causadores das altas e baixas concentrações de CO₂ seriam as inversões de temperatura do ar à noite e no início da manhã, aprisionando CO₂ gerados pelos veículos próximos do solo, e convecção induzida pela energia solar durante o período do dia, o que dilui gradativamente o conteúdo de CO₂ do ar próximo do solo. Fatores Secundários nas concentrações é velocidade do vento e direção em relação às fontes de CO₂. Esses fatores mudam tanto em relação ao dia e a noite, como em períodos de frio e de calor.

Em 06 de maio de 1986, a Resolução nº 18 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, coordenado pelo IBAMA, e que veio definir os primeiros limites de emissão para veículos leves, e contribuir para o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar instituídos pelo PRONAR. Em 28 de outubro de 1993 a lei nº 8.723 endossou a obrigatoriedade de reduzir os níveis de emissão dos poluentes de origem veicular, contribuindo para induzir o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes de combustíveis, motores e autopeças, e permitindo que veículos nacionais e importados, passassem a atender aos limites estabelecidos (MMA, 2013).

O PROCONVE impõe a certificação de protótipos e o acompanhamento estatístico em veículos na fase de produção (ensaios de produção), a autorização do IBAMA para uso de combustíveis alternativos, o recolhimento ou reparo de veículos e motores encontrados em desconformidade com a produção ou projeto, e a proibição da comercialização de modelos de veículos não homologados.

A homologação de protótipos é a principal ação do PROCONVE, pois obriga as montadoras a aplicarem conceitos de projetos que assegurem um baixo potencial poluidor aos veículos novos, e uma taxa de deterioração das emissões ao longo de sua vida útil tão baixa quanto possível.

Os veículos são classificados de acordo com seu Peso Bruto Total (PBT), sendo que as fases do programa, caracterizadas por "L" para veículos leves e "P" para veículos pesados, são implantadas segundo cronogramas diferenciados. As fases para os veículos leves estão disponíveis na Quadro 1.

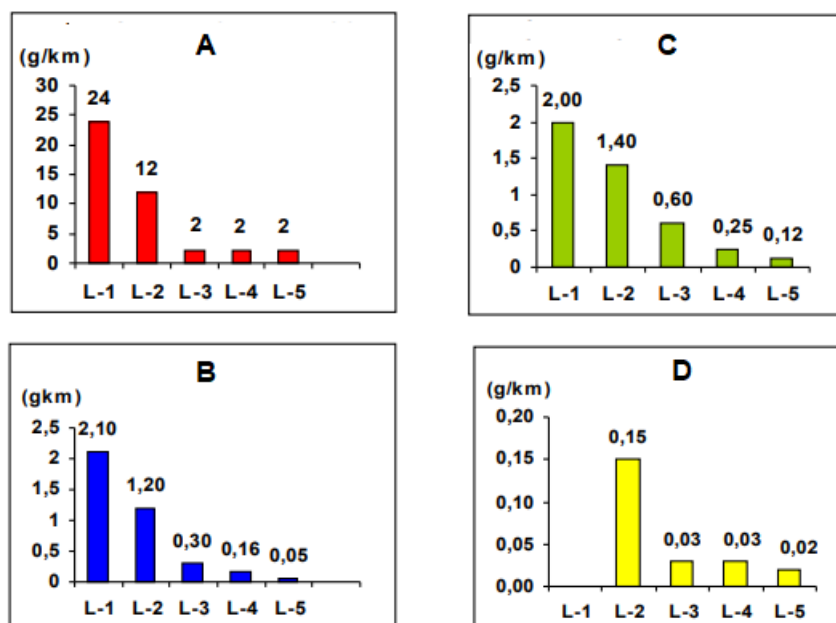
Quadro 1 – Estratégia de implantação do PROCONVE para veículos leves (Fases "L")

Fase	Implantação	Característica / inovação
Fase L-1	1988-1991	Caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção. Iniciou-se também nesta fase o controle das emissões evaporativas. As principais inovações tecnológicas que ocorreram nesta fase foram: reciclagem dos gases de escape para controle das emissões de NOx; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC; implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.
Fase L-2	1992-1996	A partir dos limites verificados na Resolução CONAMA 18 de 1986, nessa fase investiu-se na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos. Em 1994 iniciou-se o controle de ruído dos veículos.
Fase L-3	1997-2004	Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA 15 de 1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos limites anteriores, e o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio (denominado "sonda lambda").
Fase L-4	2005-2008	Tendo como referência a Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, a prioridade nesta fase que teve início no ano de 2005 é a redução das emissões de HC e NOx, (substâncias precursoras de Ozônio). Para o atendimento desta fase, se deu o desenvolvimento de motores com novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica.
Fase L-5	2009-2013	Com os limites de emissão da Resolução CONAMA Nº 315 de 2002, da mesma forma que na fase L-4, a prioridade na fase L-5 é a redução das emissões de HC e NO. De maneira análoga à fase L-4, as inovações tecnológicas se deram na otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Nesta fase deu-se a redução de 31% das emissões de hidrocarbonetos não-etano para os veículos leves do ciclo Otto e de 48% e 42% para as emissões de NOx para os veículos leves do ciclo Otto e Diesel, respectivamente. Além disso, as emissões de aldeídos foram reduzidas em, aproximadamente, 67% para os veículos do ciclo Otto.

Fonte: MMA, 2013.

A Figura 1 mostra os valores de emissão para CO, HC, NO_x e Aldeído (CHO) para cada fase já implementada do programa para veículos leves.

Figura 1 – Evolução dos limites de Monóxido de Carbono (a), Hidrocarbonetos (B), Oxidos de Nitrogênio (C) e Aldeído (D) para veículos leves (Fases PROCONVE –L)



Fonte: MMA, 2013.

Os valores estipulados pelo PROCONVE de CO, HC, NO_x, HCO e MP para as suas seis fases estão disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites do Programa de controle de emissões veiculares para as seis fases Limites do PROCONVE para as seis fases.

FASE	RESOLUÇÃO CONAMA	PERÍODO	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NO _x (g/Km)	HCO (g/Km)	MP (g/Km)
L1	18/86	1989-1991	24	2,1	2	n.a.	n.a.
L2	18/86	1992-1996	12	1,2	1,4	0,15	n.a.
L3	15/95	1997-2004	2	0,3	0,6	0,03	0,05
	315/02	Maio/2003					
L4	315/02	2005(40%)	2	0,3	0,25 ⁽³⁾	0,03	0,05
		2006(70%)			ou		
		2007(100%)			0,6 ⁽²⁾		
L5 ⁽³⁾	315/02	2009-2013	2	0,3 ⁽⁴⁾	0,12 ⁽³⁾ ou 0,25 ⁽²⁾	0,02	0,05
	415/09	2012 ⁽¹⁾					
L6	415/09	2013 ⁽²⁾	1,3	n.a.	0,08	n.a.	0,025
		2014 ⁽⁵⁾		0,3 ⁽⁴⁾		0,02	n.a.
		2015					

Fonte: MMA, 2011.

Nota:

- 1 - Apenas para veículos do ciclo Otto, exceto a GNV
- 2 - Apenas para veículos do ciclo diesel
- 3 - Para veículos do ciclo Otto

4 - Apenas para veículos a GNV

5 - Apenas para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto

n.a. = não se aplica

Os limites de emissão para os veículos leves em marcha lenta, por combustível utilizado são limitados para os gases CO corrigido e HC corrigido (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 – Limites máximos de emissão (%) de Monóxido de Carbono (CO) corrigido

ANO DE FABRICAÇÃO	GASOLINA	ÁLCOOL	FLEX	GÁS NATURAL
Todos até 1979	6,0	6,0	-	6,0
1980-1988	5,0	5,0	-	5,0
1989	4,0	4,0	-	4,0
1990-1991	3,5	3,5	-	3,5
1992-1996	3,0	3,0	-	3,0
1997-2002	1,0	1,0	-	1,0
2003-2005	0,5	0,5	0,5	1,0
2006 em diante	0,3	0,5	0,3	1,0

Fonte: MMA, 2011.

Tabela 4 – Limites máximos de emissão (ppm) de Hidrocarboneto (HC) corrigido

ANO DE FABRICAÇÃO	GASOLINA	ÁLCOOL	FLEX	GÁS NATURAL
Todos até 1979	700	1100	-	700
1980-1988	700	1100	-	700
1989	700	1100	-	700
1990-1991	700	1100	-	700
1992-1996	700	700	-	700
1997-2002	700	700	-	700
2003-2005	200	250	200	500
2006 em diante	100	250	100	500

Fonte: MMA, 2011.

O método de verificação adotado pelo CONAMA é similar àquele especificado na norma americana BAR 90 (verificação de CO e HC na marcha lenta e a 2500 rpm). Tanto para o CO como o HC, os valores a serem considerado são os corrigidos. O objetivo básico desses parâmetros é corrigir o valor medido de CO e HC para obter o real valor emitido pelo motor.

Em 14 agosto de 2013 a Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania aprova na Câmara dos Deputados o selo Pró-Ar destinado a identificar o nível de emissão de gases poluentes dos carros. Essa medida visa transparência nas taxas de emissão de CO₂ (um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa), iniciando um processo de conscientização da população, mostrando a importância da redução das emissões veiculares e ao mesmo tempo incentivando a redução das taxas de emissão por parte dos fabricantes de automóveis.

2.4 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Com o desenvolvimento industrial e urbano, o crescimento da frota automotiva, os atuais padrões de consumo, o desmatamento e as queimadas, entre outros, vem aumentando as taxas de emissões de poluentes do ar. Essas emissões e excesso alteram a composição do ar atmosférico podendo ocasionar diversas consequências, como por exemplo, sua degradação (LISBOA; KAWANO, 2007).

Percebeu-se a importância da criação de uma política nacional voltada às ações de caráter normativo e de fortalecimento institucional visando a prevenção e o controle da qualidade do ar no país.

Nesse cenário, o CONAMA, por meio da Resolução n^o 05 de 15 de junho de 1989, criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), com o intuito de *“permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas”* (MMA, 2018).

A primeira iniciativa legal do PRONAR foi a resolução do CONAMA n^o03, de 28 de junho de 1990, que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar para os seguintes parâmetros: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, SO₂, CO, O₃ e NO₂. Atualmente, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA n^o 491/2018, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA n^o 3/1990. A tabela 5 discrimina os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA n^o 491/2018. No quadro, PF (padrão de qualidade do ar final) são valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005. PI (padrões de qualidade do ar intermediários) são padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas.

Tabela 5 – Padrões de Qualidade do ar

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	Ppm*
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
. Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
	1 hora ²	260	240	220	200	-

. Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 Horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono – CO	8 Horas ³					9
. Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 Horas				240	
	Anual ⁴				80	
. Chumbo - Pb5	Anual ¹				0,5	

Onde: 1-média aritmética anual

2-média horária

3-máxima média móvel obtida no dia

4-média geométrica anual

5- medido nas partículas totais em suspensão

* ppm -partes por milhão

Fonte: MMA, 2018.

Os Padrões de Qualidade do Ar definidos nesta Resolução são adotados sequencialmente, em quatro etapas. A primeira etapa, que entra em vigor a partir da publicação da Resolução, compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1. Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e PF serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente. Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado.

Para os poluentes CO, Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb) é adotado o padrão de qualidade do ar final, a partir da publicação da Resolução. Caberá ao órgão ambiental competente o estabelecimento de critérios aplicáveis ao licenciamento ambiental, observando o padrão de qualidade do ar adotado localmente.

A mesma resolução estabelece critérios através dos valores das concentrações para tipos de episódios, classificando em níveis de Atenção, Alerta e Emergência. A tabela 6 descreve as concentrações.

Tabela 6 – Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para poluentes e suas concentrações.

Tabela 6 – Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para poluentes e suas concentrações.						
Nível	Poluentes e concentrações					
	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado		CO Ppm (média móvel de 8h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)
		MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	. 600	3.000

Fonte: MMA, 2018.

O CONAMA não estipula os níveis de CO₂ em sua resolução. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estipula os níveis de CO₂ para ambientes fechados. Valores menores que 1000 ppm são considerados aceitáveis para o conforto e bem-estar. Valores iguais ou maiores que 1000 ppm são de níveis elevados, prejudiciais à saúde. Pela falta de dados epidemiológicos brasileiros a ANVISA mantém a recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS) de =1000 ppm de CO₂ como indicador de renovação do ar.

O índice de qualidade do ar (IQA_r) é um parâmetro matemático desenvolvido para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. A Equação 1 representa a relação matemática utilizada para o cálculo do IQA_r, fornecida pelo CONAMA.

$$IQA_r = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} x (C - C_{ini}) \quad (1)$$

Onde:

I_{ini} = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.
 I_{fin} = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.
 C_{ini} = concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.
 C_{fin} = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.
 C = concentração medida do poluente.

Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice utilizado são:

1. partículas inaláveis (MP₁₀).
2. partículas inaláveis finas (MP_{2,5}).
3. fumaça (FMC).
4. O₃.
5. CO.
6. NO₂.

7. SO₂.

Para cada poluente medido, é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor, conforme apresentado no Tabela 7.

Tabela 7 – Índice de Qualidade do Ar

Qualidade	Índice	MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	CO ppm (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)
N1- BOA	0 – 40	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20
N2- MODERADA	41 – 80	>50-100	>25-50	>100-130	>9-11	>200-240	>20-40
N3- RUIM	81 – 120	>100-150	>50-75	>130-160	>11-13	>240-320	>40-365
N4- MUITO RUIM	121- 200	>150-250	>75-125	>160-200	>13-15	>320-1130	>365-800
N5- PÉSSIMA	> 200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: MMA, 2018.

2.5 MOBILIDADE URBANA

Uma pesquisa realizada na cidade do Recife pelo Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (ICPS, 2018), órgão vinculado à Secretaria de Planejamento do Recife, revela o cenário dos deslocamentos de trabalhadores e estudantes no Recife e Região Metropolitana. A pesquisa, com 201.370 pessoas, revelou que o horário de pico, de segunda a sexta, vem mudando ao longo dos anos. Pela manhã, o tráfego mais intenso fica entre 7h e 8h. No fim da tarde, entre 16h e 17h, o número de pessoas se deslocando em seu retorno para casa corresponde a 5,28%. Uma hora depois, das 17h às 18h, esse percentual mais que triplica e chega a 17,91%, onde se concentra a maior quantidade de veículos nas ruas. Nos finais de semana, o tráfego reduz drasticamente. No domingo o tráfego de veículos é mínimo.

Quem deixar para sair entre 19h e 20h vai se deparar com um percentual de 37,18% das pessoas se deslocando. Mas, de acordo com o ICPS (2018), isso inclui principalmente o grupo de trabalhadores que ganha até um salário-mínimo e largam do emprego às 19h, utilizando o transporte público para seu retorno.

A pesquisa também revelou um antigo problema: o tempo gasto nos deslocamentos para o trabalho no Recife e Região Metropolitana. Apenas 10,12% das pessoas na RMR gastam

menos de 15 minutos para chegar ao trabalho e 18,32% para chegar ao local de estudo. Quando o tempo aumenta de 30 para 45 minutos, sobe para 41,60% o percentual de pessoas.

Em uma reportagem no Diário de Pernambuco (Pesquisa Origem/Destino identifica de que formas a cidade se desloca e aponta desafios da mobilidade, 2018), o professor do departamento de Engenharia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Oswaldo Lima Neto comenta que se faz necessário criar novas centralidades e colocar as pessoas morando mais próximas dos postos de trabalho.

Para quem mora e trabalha no Recife, os números da pesquisa não agradam. Aproximadamente 32,59% gastam de uma hora a uma hora e meia para chegar ao trabalho. Os dados revelam ainda que 66% dos trabalhadores que usam o ônibus gastam mais de uma hora e 15,6% levam o mesmo tempo indo de carro. Mais uma razão para os cidadãos quererem migrar para o carro. Para melhorar o transporte público, é preciso mudar a política de uso e ocupação do solo (ICPS, 2018).

O estudo identificou também que quase 40% dos estudantes na Região Metropolitana cuja renda familiar é de até um salário-mínimo fazem seus deslocamentos a pé, e menos de 5% têm acesso ao ônibus. A pesquisa revela ainda que as crianças e adolescentes de seis a 15 anos vão para a escola a pé. Em relação ao gênero, as mulheres recifenses fazem 7,37% dos deslocamentos a pé, contra 5,99% dos cidadãos do sexo masculino. As mulheres também são maioria no transporte por ônibus (61,81%) contra 53,40% dos homens.

No caso do transporte por bicicleta e moto, os homens são maioria. Menos de 1% das mulheres usa a bicicleta para ir ao trabalho. Entre os homens, o índice chega a quase 3% na RMR. Cerca de 2% das recifenses se deslocam de moto, frente a 10% entre a parcela masculina da população. A tabela 8 mostra a configuração atual dos horários de pico em relação ao percentual da população em seu deslocamento.

Tabela 8 – Configuração atual dos horários de pico

Horários de Pico	Percentual dos Recifenses
7h- 8h	4,60%
16h- 17h	5,28%
17h- 18h	17,91%
18h-19h	13,21%
19h-20h	37,18%
22h-23h	3,17%

Fonte: ICPS, 2018.

2.6 ARDUÍNO

O Arduino consiste numa pequena placa de microcontrolador de código aberto, ou seja, qualquer pessoa pode construir placas compatíveis, resultando em baixo custo. Esta placa possui plug de conexão USB a qual permite comunicação e programação através de software instalado no computador. O Arduino possui diversos terminais que permitem a conexão com diversos dispositivos externos tais como: motores, relés, diodos, displays, sensores de várias funções e capturas de dados e estados, dentre outros(MONK, 2013). Funciona como uma ferramenta “open source” que vem sendo muito utilizado no meio acadêmico para a realização e desenvolvimento de diferentes projetos. Ele é tanto um hardware como um software.

Como hardware, o Arduino é uma plataforma de desenvolvimento em cima de microcontroladores da família Atmel. Uma plataforma que já possui diversos componentes eletrônicos acoplados prontos para a programação, facilitando a execução de projetos, economizando tempo e custo. Há placas com diversas capacidades e variados microcontroladores, assim, podemos realizar diferentes tipos de projetos usando uma mesma plataforma de desenvolvimento (GAIER, 2011). Como Software, no Arduino é feita toda a parte de programação que será usada para controlar o hardware. A programação é baseada em linguagem C, porém, de forma mais simples.

2.6.1 Tipos de Arduino

Existem vários tipos de Arduino, com diferentes processadores e quantidade de portas, para as mais diversas aplicações. A seguir, os Aduinos mais utilizados no mercado.

I) Arduino Uno

O Arduino Uno possui 14 portas digitais disponíveis, e grande compatibilidade com os shields disponíveis no mercado. Possui processador ATMEGA328. Das 14 portas, 6 delas podem ser usadas como saídas PWM, e 6 portas analógicas. A alimentação (selecionada automaticamente), pode vir da conexão USB ou do conector para alimentação externa (recomendável 7 à 12 Vdc).

Sua placa, na versão com soquete, permite a troca do chip microcontrolador ATMEGA328 facilmente em caso de dano ao microcontrolador. Existe também a placa Arduino Uno versão SMD, com o microcontrolador soldado na placa (FILIFELOP, 2018).

II) Arduíno Mega 2560

Versão maior da placa Arduino, com microcontrolador ATmega2560 e 54 portas digitais, das quais 15 podem ser usadas como PWM, além de 15 portas analógicas. Clock de 16 Mhz, conexão USB e conector para alimentação externa. Ideal para projetos mais elaborados que exijam grande número de entradas e saídas (FILIPEFLOP, 2018).

III) Arduíno Leonardo.

Placa à primeira vista muito parecida com o Arduino Uno, mas com microcontrolador Atmega32u4, possuindo 20 portas digitais, das quais 7 podem ser usadas como PWM, e 12 como portas analógicas.

Esta placa também possui clock de 16 Mhz e conexão pra alimentação externa. Diferentemente do Arduino Uno, possui conector micro-usb para ligação ao computador (FILIPEFLOP, 2018).

Outra característica dessa placa é o chip de conexão USB integrado ao microcontrolador, o que elimina a necessidade de um chip adicional de comunicação na placa, e permite que o Arduino Leonardo seja reconhecido pelo computador como se fosse um mouse ou um teclado, e não necessariamente como uma porta serial (também disponível).

IV) Arduíno Due

De todos os tipos de Arduino esta é a placa com maior capacidade de processamento, baseada em um microcontrolador ARM de 32 bits e 512 Kb de memória totalmente disponível para programas/aplicações. O bootloader já vem gravado de fábrica em uma memória ROM dedicada.

Possui 54 portas digitais, das quais 12 podem ser usadas como PWM, e 12 portas analógicas. Possui também 4 chips controladores de portas seriais, conexão USB e conector para alimentação externa.

As ligações desta placa exigem especial atenção pois as portas trabalham à 3.3V, o que pode comprometer o uso dos Shields disponíveis no mercado, que geralmente trabalham com 5v (FILIPEFLOP, 2018).

V) *Arduíno Mega ADK*

Também baseado no ATmega2560, esta placa possui uma conexão USB dedicada à ligação com dispositivos baseados em Android, como telefones celulares. Possui 54 porta digitais, das quais 15 podem ser usadas como PWM, 16 portas analógicas, 4 chips dedicados à comunicação serial, clock de 16 Mhz e conexão ao computador via USB. Também possui conector para alimentação externa (FILIPEFLOP, 2018).

VI) *Arduíno Nano*

Placa compacta baseada no microcontrolador ATmega328 (para placas Arduino Nano versão 3.x), ou ATmega168 (versão 2.x). Ao contrário das outras placas, não possui conector para alimentação externa, sendo alimentada por um conector USB Mini-B. É uma placa desenvolvida pela Gravitech.

Possui 32 Kb de memória (Nano versão 3.0), ou 16 Kb (Nano versão 2.0), sendo que 2 K são usados pelo bootloader. Seu tamanho reduzido (4,3 de comprimento x 1,85 de largura) faz dessa placa uma boa opção para projetos compactos que exijam atualização constante de software (FILIPEFLOP, 2018).

2.6.2 **Shield**

Um Shield é que uma placa hardware de circuito impresso com conectores que se encaixam na parte superior de uma placa arduino. Seu objetivo é aumentar as funções de uma placa Arduino, como por exemplo, controlá-lo remotamente, usando uma conexão WiFi, Bluetooth ou XBee, já que as placas do Arduino (e seus clones) não possuem essas funcionalidades. Existem milhares de tipos e funções diferentes para Shields, os mais comuns são os Ethernet Shield, Motor Shield, Relay Shield, LCD Shield, xbeeShield. Shields podem ser adquiridos prontos ou serem construídos em um Shield de placa padrão ou Shield protoboard. Eles são capazes de ter qualquer função, atuadores, sensores, controladores, dentre outros (FILIPEFLOP, 2018).

2.6.3 Aquisição de dados (DAQ)

A aquisição de dados (DAQ) é o processo de medição de um fenômeno elétrico ou físico, como tensão, corrente, temperatura, pressão ou som, com o uso de um computador. Um sistema DAQ é formado por sensores, hardware de aquisição e medição de dados e um computador com software programável. Em comparação com os sistemas tradicionais de medição, os sistemas DAQ baseados em PC exploram a capacidade de processamento, produtividade, sistemas de visualização e recursos de conectividades dos computadores padrão da indústria. Com isso, temos uma solução de medição mais poderosa, flexível e de melhor custo-benefício (FILIPEFLOP, 2018).

2.7 SENSORES

A medição de um fenômeno físico, como a temperatura de uma sala, intensidade de uma fonte luminosa ou força aplicada a um objeto, começa pelo sensor. Um sensor, também chamado de transdutor, converte um fenômeno físico em um sinal elétrico mensurável. Dependendo do tipo de sensor, sua saída elétrica pode ser uma característica de tensão, corrente, resistência ou outro atributo elétrico que varie com o tempo. Alguns sensores podem exigir componentes e circuitos adicionais para fornecerem um sinal que possa ser lido com exatidão e segurança por um dispositivo de Aquisição de Dados (DAQ). Os fabricantes de sensores fornecem um laudo técnico para cada componente. Um documento com todos os dados técnicos sobre os sensores, denominado Datasheet.

2.7.1 Sensores Semicondutores de Gases

Sensores de gases são dispositivos com a capacidade de identificação ou quantificação de substâncias no estado gasoso. Tais dispositivos possuem sistemas de detecção baseados em diversos princípios, normalmente envolvendo interações químicas entre os componentes do detector e a substância alvo. Essas interações são identificadas pelos sensores na forma de um sinal elétrico (tensão, resistência, corrente) e a amplitude do sinal define a concentração da substância analisada (PATIL et al., 2015; YUNUSA et al., 2014).

A tecnologia de detecção gasosa deve ser capaz de mensurar o gás alvo na gama de aplicação pretendida, e durante as medições devem considerar-se as limitações que cada tecnologia possui a fim de se minimizarem os erros (HODGKINSON; TATAM, 2013).

Normalmente, sensores semicondutores são fabricados a partir de óxidos metálicos semicondutores, como Dióxido de Estanho (SnO_2), Trióxido de Tungstênio (WO_3), Óxido de Zinco (ZnO) e Óxido de Índio (In_2O_3) e a identificação do gás alvo baseia-se na mudança de resistência elétrica do sensor ao ar livre e na presença do gás (YAMAZOE; SAKAI; SHIMANOE, 2003). Um sensor semicondutor é constituído basicamente por uma camada sensível de óxido metálico depositado sobre elétrodos metálicos, os quais se encontram apoiados num substrato e são responsáveis pela medição da resistência do sensor. O sensor também dispõe de uma resistência de aquecimento separada das outras camadas por um isolante elétrico, possuindo a função de aquecer o dispositivo a uma temperatura de operação que permita uma rápida e reproduzível interação com o gás monitorado (BARSAN; WEIMAR, 2001).

O princípio de operação de um sensor semicondutor baseia-se em reações de adsorção, oxidação e difusão que ocorrem entre o ar ambiente e a superfície do detector.

Em atmosfera livre de oxigênio, o aquecimento do sensor possibilita o deslocamento livre de elétrons na superfície do detector de modo a gerar um valor mínimo de resistência. No entanto, ao ar livre, o oxigênio atmosférico é adsorvido sobre a superfície cristalina na forma molecular de O_2^- e nas formas iônicas de O^- e O^{2-} . Tais formas de oxigênio criam uma barreira repulsiva de elétrons, impedindo sua movimentação e conseqüentemente, contribuindo para o aumento da resistência do sensor (BARSAN; WEIMAR, 2001; KANAN et al., 2009).

Esta tecnologia possui baixa reprodutibilidade e uma instabilidade do sinal, decorrente do envelhecimento do sensor e da longa exposição do dispositivo ao ar ou ao gás alvo. Deste modo, a longo prazo, o sensor pode apresentar desvios na sua linha base (definida como a resposta do sensor para um gás de referência) o que poderá implicar operações frequentes de calibração ou, no limite, a substituição do mesmo (CAPONE et al., 2004). Em contrapartida, existem vantagens nesse tipo de sensor semicondutor. As principais vantagens são o baixo custo, a elevada sensibilidade, a simplicidade de operação devido à relação direta entre a concentração do gás e a resistência do sensor, o baixo consumo de energia e a possibilidade de utilização dos sensores em sistemas conjuntos (BARSAN; HUEBNER; WEIMAR, 2013).

Os sensores semicondutores também são dispositivos não lineares, de modo que a resposta ao gás monitorado tende a ter maiores variações próximo ao limite inferior de detecção e menores variações próximas ao limite superior. Outro fator a ser considerado na aplicação desta tecnologia, é o efeito conhecido como sensibilidade cruzada, em que a resposta do sensor é afetada pela presença de outros gases, por isso a calibração e manutenção do dispositivo são essenciais para sua aplicação (CAPONE et al., 2004).

2.7.2 Sensores de Poluentes Atmosféricos

Nas últimas décadas, a utilização de sensores aplicados à determinação de gases tem sido vasta. Contudo, o âmbito de aplicação tem sido caracterizado pela existência de concentrações elevadas num contexto de emissões gasosas e no setor industrial. Três características principais incentivam a utilização de sensores integrados em metodologias relacionadas à poluição do ar do ambiente exterior (GOMES, 2015):

- (a) Custo: A utilização de sensores com custos de aquisição substancialmente mais baixos comparativamente com os equipamentos que utilizam os métodos de referência, permite a realização de estudos com vários sensores em paralelo, permitindo ter uma elevada resolução espacial em zonas com gradientes acentuados de concentração, como é o caso dos ambientes urbanos, e que anteriormente apenas eram avaliadas com algumas estações de monitorização fixas dispersas por zonas de reduzida representatividade espacial.
- (b) Sensibilidade: Esta é a característica mais importante neste tipo de aplicações. Mesmo em ambientes urbanos, as concentrações dos poluentes atmosféricos (NO , NO_2 , SO_2 , O_3 , C_6H_6) situam-se apenas na ordem das dezenas e centenas de nmol.mol^{-1} . Mesmo para o CO , com concentrações mais elevadas, estas podem chegar até aos 9 nmol.mol^{-1} . Apesar de haver uma vasta gama de sensores gasosos, este tipo de aplicação requer sensores que permitam medir de forma consistente poluentes em concentrações na ordem dos nmol.mol^{-1} , típicas do ar ambiente.
- (c) Dinamismo: A capacidade do sensor em responder de forma rápida às acentuadas variações das concentrações atmosféricas dos poluentes emitidos, tem tornado a utilização destes sensores em ambientes urbanos mais comuns. Aplicações em tráfego de automóvel em meio urbano se tornam cada vez mais comuns.

O Quadro 2 possui fatores importantes a serem considerados na escolha de sensores para medições de poluentes atmosféricos.

Quadro 2 – Principais características técnicas dos sensores de gases em medições de qualidade do ar.

Sensibilidade a fatores meteorológicos	As variações de temperatura e de humidade relativa que se fazem sentir no ambiente envolvente ao sensor podem influenciar a sua resposta. A mitigação destes fatores ou, caso sejam significativos, o seu conhecimento, é de extrema importância para a obtenção de resultados fiáveis. A sensibilidade à velocidade do vento e à exposição direta do sol também são fatores a ter em conta.
Consumo Energético	A potencial utilização deste tipo de sensores em equipamentos móveis requer a utilização de baterias para o fornecimento de energia elétrica. Quanto menor for o consumo energético do sensor, maior será a autonomia do sistema de medição. Mesmo em dispositivos fixos, a integração de um sensor num sistema de baterias de menor dimensão, permite a utilização desse dispositivo de uma forma mais simplificada.
Tempo de estabilização	Os sensores de gases podem apresentar algum tempo até que o sinal seja considerado estável. Esta questão é mais crítica nos casos em que se pretenda a utilização de um sensor num equipamento móvel.
Tempo de resposta	Os sensores de gases podem apresentar diferentes tempos de resposta à alteração da concentração atmosférica do poluente alvo. Visto que a utilização do sensor poderá ser realizada num contexto em que seja necessária uma elevada resolução temporal, será conveniente que o sensor responda o mais rápido possível. Para zonas remotas, esta característica assume uma menor importância.
Sensibilidade cruzada	Num sistema ideal, o sensor só deveria ser sensível às variações de concentração do poluente atmosférico alvo. Contudo, na prática os sensores apresentam normalmente sensibilidade a outros poluentes que não apenas o poluente alvo. Será desejável que esta sensibilidade cruzada seja a menor possível e que esteja bem caracterizada.
Deriva da linha de base do sensor	A resposta do sensor à ausência de concentração do poluente alvo deverá ser o mais estável possível ao longo do período de utilização do mesmo.
Sensibilidade do sensor	Para além do sensor ter que apresentar sensibilidade nas gamas mais baixas de concentração dos poluentes atmosféricos, o fator de resposta deverá ser o mais estável possível ao longo do tempo de utilização do sensor.

Fonte: Gomes, 2015.

A escolha de um determinado sensor será consequência da compatibilização entre o objetivo das medições, os recursos técnicos disponíveis, o tipo de ambiente onde se pretenda fazer as medições e as características fornecidas pelo fabricante do sensor.

2.7.3 Tipos de Sensores de Gases

Os últimos anos, com o contínuo desenvolvimento tecnológico, ocorreram um aumento significativo da diversidade do tipo de sensores utilizados (SNYDER, 2013). A variedade de materiais utilizados vem crescendo nos últimos anos. Um exemplo da aplicação de novos materiais neste tipo de sensores são os primeiros estudos da utilização do Grafeno em sensores de qualidade do ar, nomeadamente na medição do NO_2 (PEARCE, 2011). Grande parte dos sensores gasosos disponíveis no mercado apresentam três princípios de funcionamento distintos: sensores resistivos, óticos e eletroquímicos.

I. Sensores Resistivos

O princípio de funcionamento dos sensores resistivos é a variação da resistência elétrica ou condutividade de um óxido de metal, quando exposto a diferentes concentrações de um determinado composto gasoso.

Um dos materiais metálicos mais utilizados nos sensores é o Óxido de Estanho (SnO_2). Ele possui uma excelente resposta (reage) quando em contato com diversos compostos gasosos (ALEIXANDRE, 2012). Uma reação ocorre com os gases oxidantes ou redutores, e com o óxido de metal semiconductor, produzindo alterações na condutividade do metal. O SnO_2 utilizado se encontra sob a forma de pequenos grãos porosos ou películas (finas ou espessas) depositadas num substrato de sílica ou alumina.

Os sensores resistivos possuem um elemento de aquecimento, normalmente em platina, que é usado para regular a temperatura do sensor. Normalmente os sensores são aquecidos numa faixa de valores de temperatura que vão desse 200°C a 400°C , visando aumentar a sensibilidade e diminuir o tempo de resposta.

A temperatura de aquecimento do sensor é um dos parâmetros mais críticos, visto que o óxido de metal utilizado exhibe diferentes respostas para diferentes temperaturas (WANG, 2010).

A seleção da melhor temperatura operacional do sensor é feita de forma a maximizar a sensibilidade, para cada composto gasoso, minimizando a interferência de outros gases, que

é uma das maiores limitações deste tipo de sensores. Os novos sensores, esta limitação tem sido reduzida através da utilização de camadas finas de outros metais, como nano partículas, que ao reagirem com os gases interferentes, funcionam como catalisador ou filtro (KOROTCENKOV, 2005).

Os sensores resistivos podem responder a uma vasta gama de concentrações de gases, desde alguns nmol.mol^{-1} , a vários milhares de $\mu\text{mol.mol}^{-1}$ (KATULSK, 2009; KIDA, 2009).

II. Sensores Ópticos

São Sensores cujo funcionamento baseia-se na emissão de um feixe de luz, o qual é recebido por um elemento fotossensível. Basicamente são divididos em três sistemas: Barreira, Difusão e Reflexão. A grande vantagem desse tipo de sensoriamento é o não contato com o sistema que será monitorado, desta forma se evita problemas mecânicos e permite, por exemplo, que a leitura seja feita em movimento, o que garante que o sensoriamento ocorra sem interrupção do processo (FILIPEFLOP, 2018). Os sensores ópticos mais utilizados são:

(a) Sensor por absorção de infravermelho: O principal tipo de sensor óptico utilizado na medição de compostos gasosos é o sensor por absorção de infravermelho, com vasta utilização na medição do dióxido de carbono (CO_2). Existe uma série de vantagens desses sensores, como não necessitar de um sinal de referência, não sofrem interferências elétricas ou eletromagnéticas, permite a transmissão de sinais ópticos a grandes distâncias, detecção em ambientes perigosos, tóxicos, radioativos ou em locais de difícil acesso.

São facilmente miniaturizáveis, o que constitui uma vantagem em termos de concepção de dispositivos portáteis para análise e também quando se dispõe de volume reduzido da amostra. Os gases possuem espectros de absorção de radiação infravermelha diferentes.

O gás monitorado flui dentro de uma câmara, que conta com uma fonte de radiação infravermelha. No seu interior, a irradiação das moléculas do gás alvo por um feixe de luz infravermelha, faz com que esta seja absorvida em determinados comprimentos de onda, característicos da molécula que absorve a radiação. A intensidade de absorção da radiação pela molécula do poluente gasoso alvo é descrita pela equação de Beer-Lambert (PANDEY; KIM, 2007). Para além de ser vastamente utilizado na medição do CO_2 , este princípio de medição é também utilizado em sensores na medição de hidrocarbonetos, numa faixa de gama que vai dos

$\mu\text{mol.mol}^{-1}$ até aos cmol.mol^{-1} (ALEIXANDRE, 2012). Estes sensores apresentam um tamanho abaixo de 10 mm e um consumo na ordem das poucas centenas de mW.

(b) Sensor de Fotoionização: Aplicado na detecção de gases, principalmente relacionadas a Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs).

Esses sensores detectam gases através do princípio da fotoionização (Photoionization Detector -PID). No interior deste tipo de sensores, um feixe de luz ultravioleta de elevada energia incide no gás objeto de análise, fazendo com que as ligações das moléculas sejam quebradas. Os íons resultantes apresentam carga elétrica e, quando expostos a um campo elétrico externo, geram uma corrente que é proporcional à concentração das moléculas no interior do detector (CASTELL et al., 2013).

Compostos orgânico volátil (COV), com um potencial de ionização inferior ou igual ao potencial de ionização da lâmpada usada, pode ser identificado através deste princípio de funcionamento. Desta forma, a utilização deste tipo de sensor torna-se adequada quando existe apenas um composto orgânico volátil dominante.

Para cada composto, o sensor apresenta uma sensibilidade específica fornecida pelo respectivo fabricante. Estes sensores são de pequena dimensão e apresentam um consumo na ordem das poucas centenas de mW.

De maneira geral, os sensores ópticos também apresentam inconvenientes. Eles podem sofrer interferência da radiação ambiente, o que obriga, muitas vezes, à modulação do sinal. Os reagentes utilizados são suscetíveis a sofrerem fotodecomposição e lixiviação, o que prejudica o tempo de vida do sensor utilizado (KÁSSIO; IVO, 2009).

Apesar dessas limitações, os sensores ópticos configuram-se como uma alternativa promissora aos procedimentos convencionais e têm sido largamente aplicados em diferentes áreas do conhecimento.

III. Sensores Eletroquímicos

São divididos em três classes principais, de acordo com o princípio de operação: amperimétricos, potenciométricos e condutimétricos.

Destas três classes, podemos destacar os sensores amperimétricos, com maior utilização no âmbito de aplicação. Os outros dois tipos de sensores têm como característica diferenciadora do primeiro, a grandeza medida que é relacionada com o composto gasoso a monitorar. No

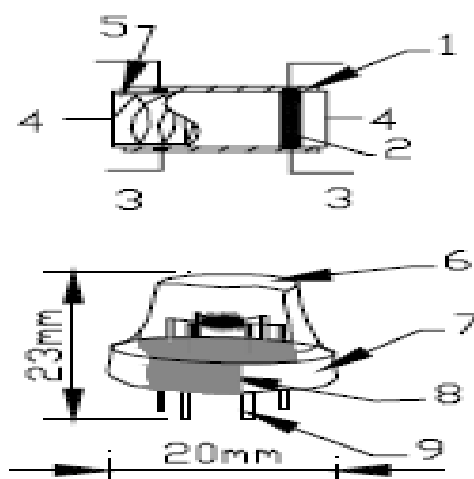
sensor eletroquímico potenciométrico, as reações eletroquímicas ocorridas no sensor permitem a medição da tensão em circuito aberto entre os dois elétrodos, sendo essa tensão normalmente proporcional ao logaritmo da concentração do gás (STETTER, 2008).

No sensor condutimétrico, a concentração do gás alvo é relacionada com a leitura da condutância da célula eletroquímica, sendo esta recíproca da resistência (JANATA, 2009).

2.7.4 Características dos sensores de gás MQ-x

Os sensores de gás da família MQ-x, são sensores de baixo custo, rápidos e de longa vida útil. Segundo o Datasheet fornecido pelo fabricante (empresa HanweiEletronics), estes sensores são compostos por um micro tubo cerâmico com óxido de alumínio, uma camada sensível de Óxido de Estanho e um eletrodo para medida, fixado junto a um aquecedor. O sensor envolvido por um envoltório de plástico com um trançado feito de aço inoxidável. A Figura 2 mostra a formação de sensores da família MQ-x com seus respectivos componentes. O Anexo A mostra o Datasheet de um sensor do tipo MQ-x, o MQ-9.

Figura 2-Componentes dos sensores da família MQ-x.



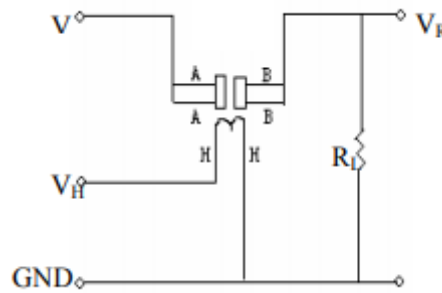
	Partes	Material
1	Camada de detecção de Gás	SnO ₂
2	Eletrodo	Au
3	Linha do eletrodo	Pt
4	Bobina do aquecedor	Liga de Ni-Cr
5	Tubo de cerâmica	Al ₂ O ₃
6	Trançado anti explosão	Aço inoxidável
7	Anel de pressão	Cobre Níquel
8	Base de resina	Baquelite
9	Pinos	Cobre Níquel

Fonte: Datasheet do sensor MQ-9 (Anexo I).

A parte sensível do sensor tem uma resistência proporcional à concentração do gás em que o sensor está submetido, de acordo com a característica de cada modelo. Medindo essa resistência é possível estimar a concentração do gás.

Para realização desta medida, utiliza-se o circuito elétrico mostrado na Figura 3 (Anexo I) retirada do datasheet fornecido pelo fabricante. V é a tensão de alimentação do sensor, V_H é a tensão de alimentação para o aquecedor, R_L é uma resistência de carga e V_R é a tensão na resistência de carga.

Figura 3-Circuito elétrico dos sensores da família MQ-x.



Fonte: Datasheet do sensor MQ-9 (Anexo A).

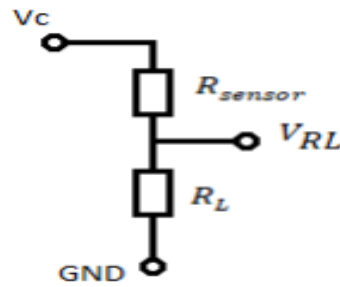
O Arduino recebe a informação do sensor através de uma de suas portas. Esse número que o Arduino recebe representa o valor da porta. A relação entre o valor da porta e a tensão V_{RL} é dada pela Equação 2 (Eletrogate Componentes Eletrônicos, 2018).

$$V_{RL} = \frac{5p}{1023} \quad (2)$$

Onde p é valor da porta.

A parte sensível é um elemento resistivo. Ao analisar o circuito, observa-se que se trata de um circuito divisor de tensão como mostrado na Figura 4. A saída será proporcional à entrada e a relação entre as duas resistências.

Figura 4-Circuito divisor de tensão.



Fonte: Autoria Própria.

Observando o circuito e aplicando a Lei de Ohm temos as equações 3 e 4 (HALLIDAY; RESNICK, 2013):

$$(3) \quad V_C = (R_L + R_{sensor}) * i$$

$$(4) \quad V_{RL} = R_L * i$$

Como a corrente i é a mesma nas duas equações, resolvendo o sistema, obtém-se como resultado a Equação 5 adaptada Halliday e Resnick (2013):

$$V_{RL} = \frac{R_L}{R_L + R_{sensor}} V_C$$

Desta relação controlamos a tensão de entrada, o resistor de carga e podemos medir a tensão no resistor de carga, permitindo assim calcular a resistência do sensor e a partir dela inferir a concentração de gás. Logo, a fórmula anterior pode ser rearranjada para a forma da Equação 6:

$$(6) \quad R_{sensor} = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \cdot R_L$$

Os vários modelos de sensores da família MQ-x possuem mesma disposição de elementos assim como o mesmo princípio de funcionamento e utilizam do mesmo circuito descrito anteriormente. Por isso, de modo geral, são influenciados de alguma forma por toda a gama de gases dos quais o sensor consegue medir, podendo gerar assim os ruídos nas medições caso mais de um desses gases estejam presentes no ambiente monitorado.

Desta forma, torna-se necessário a avaliação de quando cada sensor pode ser utilizado, para evitar gerar leituras errôneas devido às interferências não previamente consideradas.

É importante notar que o seu aquecedor permite que o sensor esteja em uma temperatura adequada para sua utilização. Para que as leituras sejam confiáveis, o fabricante recomenda que o aquecedor fique ligado por no mínimo vinte e quatro horas antes de qualquer medida. Todos os sensores da família MQ-x sofrem influência da temperatura externa. Dentre os sensores de gás da família MQ-x, pode-se destacar o sensor MQ-135 pelo bom desempenho e seus baixos custos.

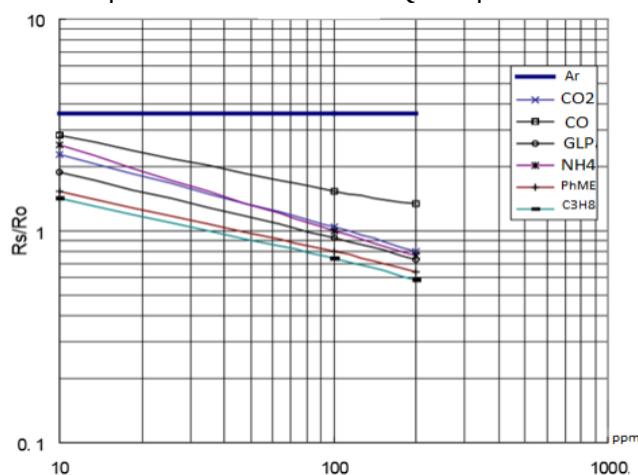
2.7.5 Sensor MQ-135

O sensor MQ-135 tem a capacidade de medir amônia, benzeno, fumaças, gás carbônico, dentre outros.

Através do seu Datasheet, pode-se observar o comportamento do sensor MQ-135 para diversos gases e a influência da temperatura e umidade do ambiente em suas leituras, no Anexo II.

O comportamento do sensor MQ-135 é avaliado usando a relação da razão R_s/R_o e a concentração em ppm do gás medido. R_o é a resistência do sensor a uma concentração de 100 ppm de amônia no ar limpo. R_s é a resistência do sensor em várias concentrações de gases. A Figura 5 mostra o comportamento do sensor MQ-135 para diversos gases.

Figura 5-Comportamento do sensor MQ-135 para diversos gases.



Fonte: Datasheet do sensor MQ-135 (Anexo B).

Observa-se que o sensor possui uma sensibilidade muito próxima para todos os gases dos quais ele permite medir e isso nos leva a concluir que este sensor não é aconselhado para ambientes onde haverá mais de um desses gases com concentrações próximas, pois suas leituras possuirão muito ruído e, por isso, não serão leituras confiáveis.

2.7.6 Sensores de Temperatura

Os sensores de temperatura são utilizados em diversas áreas do conhecimento. As faixas de temperatura de atuação e precisão variam para cada tipo de sensor. Apesar de existirem diferentes níveis de precisão entre eles, geralmente os de maior precisão são os de maior custo. Sensores que mantem precisão ao longo do tempo possuem longa Estabilidade Térmica. A estabilidade é regida pelas propriedades básicas físicas do sensor. Sua estabilidade geralmente é afetada pela exposição a altas temperaturas.

As Saídas do sensor variam de acordo com o tipo. Alguns Sensores possuem saída em resistência ôhmica, que variam inversamente proporcional à temperatura, por isso é chamado de coeficiente de temperatura negativo (NTC).

A Base de metais, tais como platina, possuem coeficientes de temperatura positivo (PTC). Termopares tem saída em mili-volts que variam com a temperatura. Os semicondutores possuem uma variedade de saídas digitais binárias (FILIPEFLOP, 2018).

Quando a sensibilidade do sinal de saída (Output) se mantém constante dizemos que o sensor é linear. Os Sensores NTC são exponencialmente não-linear, exibindo uma sensibilidade muito mais elevada a baixas temperaturas do que a temperaturas elevadas.

A linearidade de um sensor diminui a dificuldade de parametrização do sinal sensor com o circuito, embora existam hoje microprocessadores modernos que possui a função de linearizar facilmente o sinal de sensores não lineares para o circuito.

Os Sensores NTC e Sensores Digitais possuem o melhor tempo de resposta de acordo com a massa do encapsulamento do sensor. Ruído e interferências elétricas de indução é um problema principalmente com termopares devido possuir sinal de saída em volts. Termistores com resistências elevadas possuem uma ótima resistência a esses efeitos.

Os sensores NTC possuem o melhor custo para aplicação em grandes escalas e temperaturas até 300°C. Sensores Pt100/Pt1000 são muito utilizados em aplicações que exigem alta precisão e elevadas temperaturas. Termopares são largamente utilizados em aplicações para alta temperatura, acima de 300°C. Semicondutores possuem longa durabilidade e facilidade de comunicação com circuito.

A escolha do sensor a ser utilizado dependerá da prioridade do projeto, pois existem diversos sensores disponíveis especificamente para cada necessidade.

2.8 INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA CAPTURA DO CARBONO

O CO₂ é um gás de efeito estufa considerado dominante. Aumento de CO₂ atmosférico é atribuído principalmente a queima de combustíveis fósseis, combustão e desmatamento de em todo o mundo (HAMBURGO et al., 1997). As árvores agem como uma fonte de CO₂ fixando carbono durante a fotossíntese e armazenando o excesso de carbono como biomassa.

O ritmo com que a vegetação consome CO₂ muda ao longo do tempo à medida que as árvores crescem, morrem e se deterioram. Além disso, a influência humana pode afetar a dinâmica das absorções de CO₂ das florestas através de fatores como emissões de combustíveis fósseis e plantio (NOWAK; 2002). Como a biomassa da árvore apresenta crescimento, o carbono retido pela planta também aumenta o estoque de carbono. A taxa de armazenamento de carbono aumenta em árvores jovens, mas depois diminui à medida que a idade avança.

Espécies de pinheiros plantadas em terras cultiváveis no sudeste dos EUA, a taxa de carbono absorvido começa a diminuir aproximadamente aos 20 anos e está perto de zero aos 100 anos (VELD, 2005).

O aumento da concentração de CO₂ atmosférico estimula a taxa fotossintética das árvores e pode resultar em aumentadas taxas de absorção e produção de biomassa. O resultado de experiências de enriquecimento de CO₂ com ar livre mostrou um aumento de 25% no crescimento das concentrações normais de CO₂. Portanto, o crescimento é quase sempre maior no ar com uma concentração maior de CO₂ (Burley et al., 2004). As evidências científicas sugerem que o aumento de CO₂ na atmosfera pode ter um efeito positivo, como a melhoria da produtividade da planta (KEUTGEN; CHEN; 2001).

Em muitos países do mundo, estudos mostram que as florestas são responsáveis por capturarem CO₂ na ordem de Giga toneladas (JANA; 2009). Registros atmosféricos e inventários florestais mostram que nas últimas décadas, as florestas do mundo absorveram até 30% das emissões anuais antropogênicas globais de CO₂, aproximadamente a mesma quantidade que os oceanos. As florestas têm absorvido cada vez mais CO₂ nos últimos 50 anos (BELLASSEN.; LUYSSAERT; 2014).

Estudos experimentais e de modelagem estabeleceram que, atualmente, o sumidouro florestal global é impulsionado principalmente por mudanças na concentração atmosférica de CO₂ e na deposição de nitrogênio. A explicação competitiva, de que o rápido crescimento das árvores de hoje é uma recuperação do clima antigo ou das perdas na colheita, parece improvável porque exige que regiões ao redor do mundo, como a Amazônia e a Bacia do Congo, sejam afetadas simultaneamente. Tal coincidência deve ter deixado vestígios de fuligem e aumento

das concentrações de CO₂ nas bolhas de ar nas amostras do núcleo de gelo glacial, mas elas não são vistas.

Entretanto esse comportamento de sumidouro de carbono das florestas maduras é atribuído a mudanças ambientais em larga escala que violam a suposição das condições estáveis subjacentes à estrutura de Odum: concentrações mais altas de CO₂ atmosférico estão acelerando o crescimento de árvores em todo o mundo e o nitrogênio emitido pela indústria, agricultura e queima de combustíveis fósseis estão fertilizando cada vez mais os solos florestais gerenciados na Europa, China e leste dos Estados Unidos.

Até o momento, a maioria das discussões sobre o impacto das mudanças climáticas nas florestas se concentrou no aumento da taxa de eventos localmente devastadores, como incêndios, infestações, secas e tempestades.

Na última década, milhões de metros cúbicos de madeira foram derrubados em quatro grandes tempestades na Europa, uma onda de calor recorde com incêndios florestais que afetaram 23.000 quilômetros quadrados na Rússia em 2010, uma década de sequestro de carbono na Amazônia perdida devido à secas severas em 2005 e 2010, e a pandemia de besouro de casca que afetou 130.000 quilômetros quadrados e matou 435 milhões de metros cúbicos de árvores na Colúmbia Britânica, Canadá, desde 2004.

Apesar desses eventos causarem grandes impactos socioeconômicos e ecológicos, são insignificantes ao longo de décadas e em escala global. As oscilações climáticas do Pacífico El Niño e La Niña, principalmente os incêndios de florestas tropicais e turfeiras associadas a eles, são os únicos distúrbios regionais evidentes nos registros atmosféricos de CO₂ em média global (BELLASSEN; LUYSSAERT; 2014).

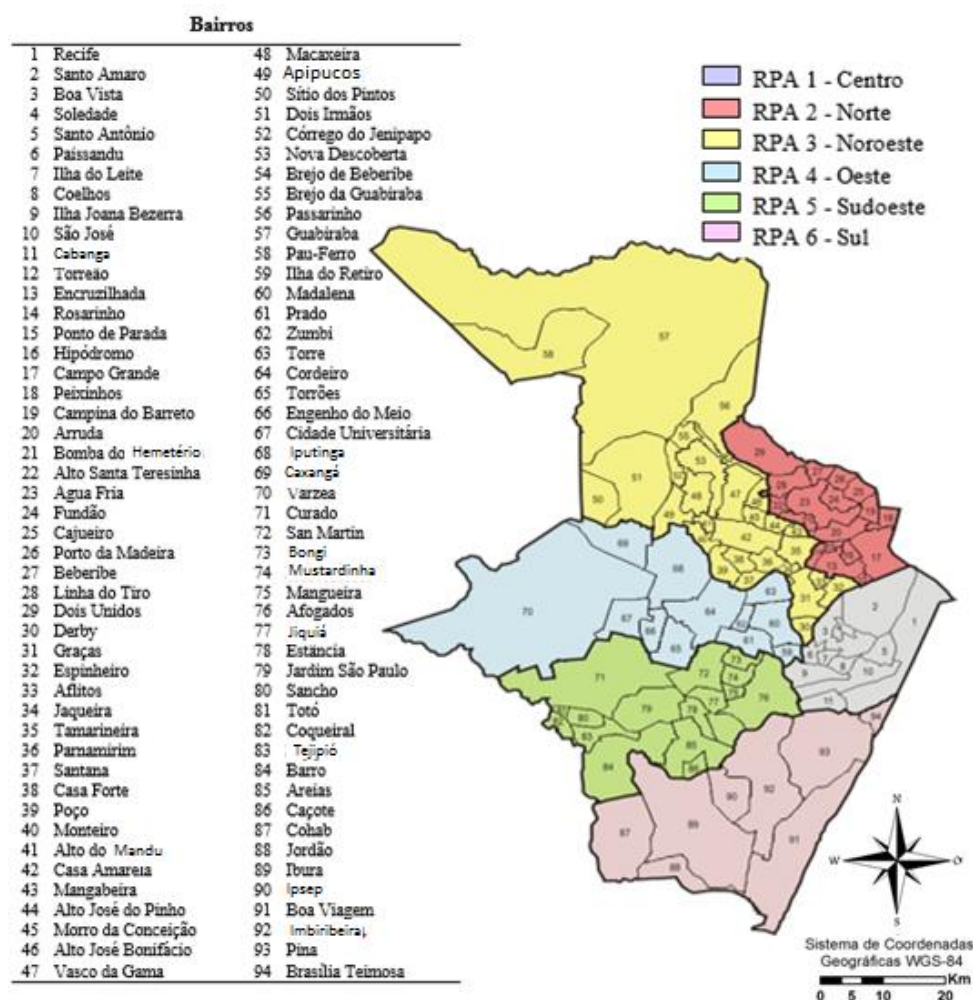
Para tomar boas decisões sobre como cultivar florestas para mitigar as mudanças climáticas, como se é melhor colher ou conservar árvores, precisamos entender melhor a causa e o comportamento futuro desse sumidouro de carbono in situ. Até que se saiba mais, a proposta é que o manejo florestal priorize estratégias que aumentam os estoques florestais e a colheita de madeira, por meio de medidas como proteger as árvores dos animais ou substituir florestas que estão morrendo ou com baixa produtividade (BELLASSEN; LUYSSAERT; 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade do Recife possui área de aproximadamente 217 km² e população de 1.599.514 habitantes (PREFEITURA DO RECIFE, 2018). É a capital do estado de Pernambuco e sede da RMR. De acordo com a prefeitura do Recife (2018), a cidade do Recife está dividida 94 bairros e em seis Regiões Político-Administrativas (RPA). São elas: Centro (RPA 1), Norte (RPA2), Nordeste (RPA3), Oeste (RPA 4), Sudoeste (RPA 5) e Sul (RPA 6), conforme Figura 6.

Figura 6 – Mapa da cidade do Recife com identificação dos 94 bairros e das seis regiões político-administrativas



Fonte: Adaptado por Souza et al. (2014)

Segundo a classificação de Köppen (1948) o clima do Recife é do tipo As (quente e úmido), com temperaturas elevadas e com chuvas de inverno e outono.

A cidade de Recife no período de 1961 a 2008, apresentou precipitação média anual é de 2.305 mm, com o quadrimestre mais chuvoso de abril a julho, e o trimestre mais seco de outubro a dezembro, com os meses de junho (390 mm) e julho (357 mm) os mais chuvosos e novembro (38mm) e dezembro (56mm) os mais secos (SOUZA, 2011; SOUZA eAZEVEDO, 2012).

Com relação à umidade relativa do ar, a média anual é em torno de 80%, e climatologia anual da temperatura média do ar é de 25,5 °C, da temperatura máxima de 29,3° C e da mínima de 22,1 °C (SOUZA e AZEVEDO, 2012).

. Por ser uma região litorânea, sua vegetação típica é Mata Atlântica. Devido ao contínuo crescimento populacional as áreas verdes estão sendo suprimidas, dando origem a construções tanto para fins residenciais como industriais.

De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco (DETRAN –PE, 2018) sua frota de automóveis em 2018 foi de 410.318veículos. Num total, adicionando motos, caminhões, ônibus dentre outros, temos 698.167veículos.

3.2 DADOS

3.2.1 Frota veicular

Foram utilizados dados anuais da frota veicular para a cidade do Recife, classificada por tipo de veículo e por tipo de combustível utilizado,no período de 1990 a 2018, fornecidos pelo DETRAN-PE.

3.2.2 Emissões em marcha lenta

As medições dos gases CO, CO₂ e HCque foram realizadas diretamente do escapamento dos veículos (Emissões em marcha lenta- medição das emissões dos veículos ligados em repouso) para analisar sua evolução com o passar dos anos foram realizadas pelo equipamento denominado “Analisador de Gases de Exaustão de Veículos Automotores” TM 132 (AGEVA) da Tecnomotor (Figura 7), fornecido pelo Instituto Federal de Pernambuco Campus Pesqueira - PE.

Figura 7 – Analisador de Gases de Exaustão de Veículos Automotores.



Fonte: Autoria Própria.

3.2.3 Totais anuais de emissão

Todos os valores necessários para o cálculo das emissões anuais da frota da cidade do Recife – PE para CO e CO₂ foram adquiridos do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

As taxas de emissão em g/Km de CO e CO₂, por ano de fabricação do veículo, foram obtidas do Programa de Controle de Poluição do ar por Veículos Automotores (PROCONVE) do MMA.

Os valores médios da distância percorrida por um veículo em Km durante um ano em função da idade do veículo (Intensidade de uso de Referência) foram obtidos através do Inventário Rodoviário fornecido pelo MMA.

Fatores Deteriorados que são os acréscimos às taxas de emissão de CO por veículo devido ao desgaste do veículo foram obtidos pela CETESB.

3.2.4 Medidor de Gases Atmosférico Construído

Os componentes utilizados na construção do Medidor de Gases Atmosférico (MGA) capaz de coletar a concentração do CO₂ e CO na atmosfera foram adquiridos com recursos próprios. O dispositivo construído possui os componentes discriminados na tabela 9.

Tabela 9 – Componentes utilizados na elaboração do medidor de gases.

Componente	Quantidade (Kit)
Arduino MEGA 2560	1
Sensor de Gás MQ-9 Monóxido de Carbono	1
Sensor de Gás MQ-135	1
Sensor de temperatura e umidade DHT11	1
Módulo Cartão SD Card	1
Cartão de Memória 8GB MicroSd	1
Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4	1
Protoboard 830 Pontos	1
Display LCD 20×4 Backlight Azul	1
Resistors e capacitores	1
Potenciômetro Trimpot 10K Ω	1
Cabo USB	1
JunpersMacho-Macho e Macho - Fêmea	1

Fonte: Autoria Própria.

3.2.5 Medição dos gases atmosféricos

O instrumento KR 7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade, da AKROM Produtos Eletrônicos (Figura 9) foi utilizado para a medição do CO₂ atmosférico, temperatura e umidade do ar como também utilizado para a calibração do MGA. O MGA foi utilizado apenas para a medição do CO₂ atmosférico.

O aparelho KR7755 mede a concentração de CO₂ presente no ambiente, bem como a temperatura e umidade relativa do ar. Indica também as temperaturas de ponto de orvalho (DP) e bulbo úmido (WBT), além de apresentar as concentrações de CO₂ médias ponderadas para exposição ao gás durante 8 horas (TWA) e 15 minutos (STEL). Seu amplo visor LCD possui tripla indicação e fundo iluminado (backlight) para visualização em ambientes com pouca iluminação. Registra os valores máximos (MAX) e mínimos (MIN), além de permitir o congelamento da indicação no visor (função HOLD). A sua resolução para a medição do CO₂ é de 1 ppm com precisão de $\pm 5\%$. Para a temperatura, sua faixa de medição é -10°C a 60°C com resolução de 0,1°C e precisão de $\pm 0,6^\circ\text{C}$. Para a Umidade Relativa sua faixa vai de 0% a 100%UR com resolução de 0,1%UR e precisão $\pm 3\%$ UR.

A calibração do KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade de certificado 25.881-2018 foi realizada em 13 de setembro de 2018. Esse instrumento foi adquirido com recursos próprios na INSTRUBRAS- Instrumentos de Medição.

O instrumento KR-1000 CarbonMonoxide Meter (Medidor de Monóxido de Carbono) na Figura 10 foi utilizado para medir as concentrações de CO.

O KR-1000 mede a concentração de CO presente no ar e a temperatura ambiente. Seu amplo visor LCD possui dupla indicação e fundo iluminado (backlight) para visualização em ambientes com pouca iluminação. Permite ajustar os limites mínimo (Lo) e máximo (Hi) de CO, emitindo sinais sonoros diferenciados quando os mesmos são atingidos. Registra as concentrações de CO máxima (MAX) e média (AVG), além de permitir o congelamento da indicação no visor (função HOLD). Sua faixa de medição vai de 0 a 1000 ppm. Sua resolução é de 1ppm com precisão de $\pm 5\%$ do valor medido.

O KR1000 CarbonMonoxide Meter foi calibrado em 13 de setembro de 2018, com certificado 25.882-2018. Esse instrumento também foi adquirido com recursos próprios na INSTRUBRAS- Instrumentos de Medição.

O programa de estatística Origin (versão 10.5) juntamente com o Excel 2009, foram utilizados para a realização dos cálculos e gráficos obtidos.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Análise da frota

Foi realizada uma análise modal da evolução anual da frota de veículos automotivos na cidade do Recife de 1990 a 2018 devido à disponibilidade dos dados. Foram analisadas a evolução da frota veicular total e de forma modal, como a fração percentual da frota de veículos automotivos do ciclo de Otto pela frota veicular total.

3.3.2 Emissão veicular em marcha lenta

Utilizando o equipamento AGEVA, foram obtidas as taxas das emissões em marcha lenta dos gases HC, CO e CO₂ com o veículo funcionando em baixa rotação (900 rotação por minuto) e em alta rotação (variando entre 2500 e 3000 rotação por minuto).

Foram escolhidos 4 pontos da cidade do Recife com grandes concentrações de veículos. Os principais foram postos de gasolina da cidade. O condutor do veículo foi abordado e convidado a participar da pesquisa. Aceitando o convite, as informações coletadas de cada automóvel foram: ano do veículo, sua quilometragem total e o tipo de combustível (apenas gasolina, apenas álcool ou motor flex).

Ligando o aparelho, o teste inicia. Durante o teste os valores das concentrações dos gases emitidos foram fornecidos automaticamente ao computador e no final expressa seus valores definitivos através de um relatório.

O veículo foi ligado, em repouso, e a sonda do AGEVA introduzida em seu escape. Inicialmente o veículo funcionou em acelerar com rotação aproximada de 900 rotação por minuto. Ligando o aparelho, após a sua calibragem o teste inicia. Após 20s do aparelho ligado, as concentrações de HC, CO e CO₂ foram coletadas (valores de baixa rotação). Na sequência o condutor acelerava o veículo para a rotação do motor atingir valores entre 2500 e 3000 rotação por minuto. Novamente o aparelho AGEVA foi ligado para executar a medição de HC, CO e CO₂ em alta rotação.

Foram realizadas 130 medições durante o período de um ano e meio, com início em julho de 2016 e término em dezembro de 2017. As medições foram realizadas em horários diferentes, sendo realizadas durante o dia e à noite. Os resultados das taxas durante o dia foram confrontados com os resultados da noite com o objetivo de saber se existe alguma relação da temperatura ambiente com as taxas de emissão.

A pesquisa contemplou automóveis com anos de fabricação pertencentes ao intervalo de 2005 a 2017. Para cada ano de fabricação foram pesquisados dez automóveis, independentemente de ser gasolina, álcool ou flex, resultando num total de 130 medições. Todos os automóveis pertencentes aos anos de 2005 e 2006 analisados foram à gasolina. Dos dez automóveis de 2007, apenas um foi a gasolina, os outros flex. Os automóveis pertencentes aos anos de 2008 a 2017 foram apenas flex. O equipamento utilizado para coletar as informações está representada na Figura 8.

Figura 8 – Foto do analisador de gases da Tecnomotor.



Fonte: Autoria Própria.

A interface disponível no computador pelo analisador de gases no momento da análise está na representada na Figura 9.

Figura 9 – Interface disponível pelo analisador de gases.



Fonte: Autoria Própria.

As medidas dos HC foram realizadas em partes por milhão de volume (ppmvol) isto é, uma leitura de 100ppmvol indica que existem 100 partes de HC em um milhão de partes de gás de exaustão. As medidas do CO e do CO₂ são em porcentagem de volume (vol%) representando o percentual desses gases em relação ao volume total. O equipamento apresenta precisão de 1ppm vol para HC, 0,01 % VOL para CO e 0,1 % VOL para o CO₂. O equipamento AGEVA TM 132 utilizado já estava calibrado nos padrões estipulados pelo fabricante.

Os valores de emissão em marcha lenta encontrados para HC, CO e CO₂ de acordo com o ano do veículo, quilometragem total e combustível utilizado estão disponíveis no Apêndice A.

Gráficos dos valores médios anuais, representando a evolução das emissões em marcha lenta para baixa e alta rotação, dos gases HC, CO e CO₂, por ano de fabricação dos automóveis, foram construídos. Os valores médios anuais foram calculados com suas respectivas dispersões através do Desvio Padrão (DP). A média dos valores médios anuais, para cada gás, foi calculada com seu respectivo intervalo de dispersão. As variações percentuais dos valores medidos foram analisadas utilizando seus valores médios com Intervalo de Confiança (IC) de 95%. Estas medidas tem o objetivo de mostrar alguma evolução tecnológica dos automóveis, caso

apresentem alguma diminuição das taxas de emissão de HC e CO, e aumento de CO₂, com o passar dos anos.

Os resultados foram analisados, relacionando o nível de emissão de acordo com o ano do veículo, e com o tempo de utilização do mesmo, mensurado através da quilometragem do automóvel.

3.3.3 Emissões totais anuais

Foram calculados os valores totais anuais de emissão dos gases CO e CO₂ de 1990 a 2016 por ano e por tipo de combustível. Este intervalo de tempo foi escolhido devido à disponibilidade dos dados, tanto das emissões individuais dos automóveis em cada ano fornecida pelo PROCONVE, como a frota/ano especificamente de automóveis, disponibilizadas pelo Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco (DETRAN-PE).

Com os dados de emissão em marcha lenta e da frota veicular da cidade, foi realizada a análise justificando possíveis variações dessas emissões totais como passar dos anos. O cálculo das emissões totais anuais utilizou os dados de emissão dos gases, na unidade de gramas por quilômetro rodado fornecidos pelo PROCONVE. O cálculo dos valores totais anuais foi realizado utilizando a Equação 7:

$$M = \sum (Fe \times Iu \times Fr) \quad (7)$$

Onde:

M = Massa de poluente emitida no período considerado, em grama/ano;

Fe = Fator de Emissão, depende do tipo de veículo, do poluente e combustível utilizado (g/km);

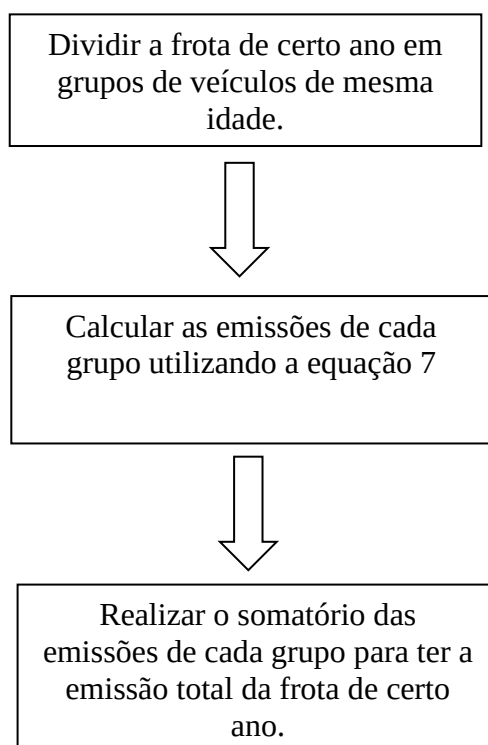
Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano);

Fr = Frota dos automóveis.

Observa-se que o cálculo anual depende diretamente da composição da frota. Mas a frota é formada com automóveis de quilometragens diferentes e de idades diferentes. A taxa de emissão de cada automóvel varia com a idade do mesmo. Sendo assim, em certo ano, teríamos automóveis com idades diferentes, emitindo poluentes em taxas diferentes, dificultando o cálculo do total anual. Além disso, a partir de certa quilometragem, existe uma correção em relação às emissões de CO. A cada 80.000 Km percorridos, os automóveis sofrem um “adicional” de emissão que é o Fator de Deterioração (CETESB, 2012).

Desta forma, a metodologia utilizada para o cálculo de emissão para cada ano, foi dividir a frota de certo ano, em grupos menores formados com veículos de mesma idade, consequentemente com mesma taxa de emissão. A parcela ($Fe \times Iu \times Fr$) foi calculada para cada grupo menor daquele ano, levando em consideração a emissão por veículo e sua quilometragem anual. A massa total anual de determinado poluente será o somatório das emissões dos grupos menores. A Figura 10 mostra a sequência utilizada.

Figura 10 – Fluxograma do cálculo das emissões totais



O DETRAN- PE não fornece a distribuição por idade da frota para nenhum ano, apenas o valor total. Fez-se necessário estimar quantos automóveis novos teríamos em 1990. Foi realizada a média das frotas anuais e a média dos carros novos que foram introduzidos de 1990 a 2018. Com isso, calculou-se o percentual médio de carros novos em relação à frota. Esse percentual foi utilizado para estimar quantos carros novos teríamos em 1990 e quantos carros usados pertenceriam à frota em 1990. Desta forma, foram realizadas duas análises:

- (1) Emissão anual dos automóveis para cada ano (1990 a 2016) apenas dos automóveis novos que surgiram em 1990 e de anos subsequentes:

Para o ano de 1990, o valor da taxa de emissão utilizada no cálculo foi de veículos novos. Para o ano seguinte (1991), a formação da frota foi constituída por dois grupos: o

primeiro foi formado pela quantidade de veículos do ano anterior (que ainda permanecem em circulação) e o segundo, com os veículos novos do ano de 1991. Desta forma um grupo possui 1 ano de uso e o outro, zero ano de uso por serem novos. Para 1992, teríamos 3 grupos, onde o primeiro teria 2 anos de uso (automóveis de 1990), o segundo, 1 ano de uso (automóveis usados introduzidos em 1991) e o terceiro com automóveis novos introduzidos em 1992. Esta metodologia continua sendo realizada até 2016.

A parcela ($Fe \times Iu \times Fr$) foi calculada para cada grupo menor daquele ano, levando em consideração a emissão por veículo e sua quilometragem anual. A massa anual de determinado poluente será o somatório das emissões dos grupos menores. Esse valor de cada ano (de 1990 a 2016) não representa o valor total de todos os automóveis, porque não existe a contribuição dos automóveis usados de 1990.

(2) Emissão anual dos automóveis para cada ano (1990 a 2016) dos automóveis anteriores a 1990 (usados) que pertenciam à frota de 1990:

A frota de 1990 possui um grande percentual de automóveis usados que não entraram no cálculo anterior. Em cada ano (1990 a 2016) existe a contribuição das emissões desses veículos. Como esse quantitativo de automóveis usados de 1990 é de anos anteriores, não existem dados sobre a idade desses veículos e nem de sua quilometragem. Então, o cálculo das emissões para cada ano, 1990, 1991, 1992.... 2016, desses automóveis usados de 1990, foi realizado aplicando a equação 7 onde a taxa de emissão e a intensidade de uso são valores médios. Considerou-se a taxa de emissão utilizada em certo ano como sendo a média aritmética dos dados de emissão disponíveis pela CETESB de 1950 a 1990 (40 anos de dados disponíveis), já que são veículos fabricados antes de 1990.

O valor da intensidade de uso para certo ano foi considerado a média aritmética de todos os valores disponíveis pela CETESB, correspondendo também a até 40 anos de uso do veículo.

Após o cálculo das emissões desses automóveis antigos (anteriores a 1990) para cada ano (sua contribuição para cada ano de 1990 a 2016) pode-se calcular os valores totais. Para o cálculo das emissões totais de todos os anos (1990 a 2016), somou-se a contribuição da parte da frota de automóveis novos, introduzidos inicialmente em 1990, mais a contribuição das emissões dos automóveis usados que pertenceram à frota de 1990 e também contribuíram nos anos subsequentes.

Como a utilização do combustível a partir da criação do automóvel flex em 2003 (que utiliza gasolina e/ou álcool) é pessoal, não se pode afirmar com precisão quantos automóveis utilizam qualquer combustível. Desta forma, foram calculados os valores máximos de emissão

(por poluir mais) considerando todos os automóveis utilizando gasolina e valores mínimos de emissão (por poluir menos) considerando que todos os automóveis utilizam álcool.

Os valores totais anuais para cada gás, por tipo de combustível, foram representados graficamente. A média dos valores anuais, para cada gás, foi calculada com seu respectivo intervalo de dispersão. As variações percentuais dos valores medidos foram analisadas utilizando seus valores médios com Intervalo de Confiança (IC) de 95% (LOPES, 2001).

Para o gás Dióxido de Carbono, os valores da taxa de emissão veicular por idade do automóvel são fornecidos pelo PROCONVE a partir do ano de 2002. Desta forma, as emissões totais de 1990 a 2001 foram calculados considerando o valor de emissão veicular de 2002, que é o valor mais antigo disponibilizado. Da mesma forma para calcular a taxa média utilizada no cálculo dos veículos anteriores a 1990. Ações que contribuam numa maior redução de emissão veicular foram sugeridas, visando contribuir com a qualidade do ar da cidade do Recife.

3.3.4 Construção do medidor de gases atmosférico (MGA)

Para a construção da plataforma sensorial foi necessário, primeiramente, escolher os gases que seriam monitorados, os sensores para medição dos gases e a ferramenta de aquisição de dados.

Inicialmente, o MGA elaborado neste trabalho tinha como objetivo principal identificar a concentração de CO e CO₂ presentes na atmosfera. Medidas feitas com o equipamento KR1000 CarbonMonoxide Meter (Medidor de Monóxido de Carbono), mostraram que as medidas da concentração de CO ambiente estariam abaixo do valor mínimo detectável por sensores de baixo custo para Arduino. Desta forma, apesar do medidor elaborado possuir a capacidade de coletar o CO, o único gás a ser analisado pelo dispositivo neste trabalho será o CO₂. Os sensores utilizados sofrem influência direta da temperatura e umidade do ambiente por serem da família MQ-x. Desta forma, optou-se por inserir no sistema um elemento de medição de temperatura e umidade para uma melhor descrição e análise dos dados. Os sensores foram escolhidos levando em consideração suas sensibilidades às variáveis de medição, eficiência e baixo custo de mercado. Os elementos que compõem o MGA são:

- Arduino MEGA 2560;
- Sensor de Gás MQ-9 Monóxido de Carbono;
- Sensor de Gás MQ-135;

- Sensor de temperatura e humidade DHT11;
- Módulo Cartão SD Card;
- Cartão de Memória 8GB MicroSd;
- Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4;
- Protoboard 830 Pontos;
- Display LCD 20×4;
- Jumpers/Fios para Protoboard;
- LEDs;
- Capacitor Cerâmico;
- Resistores.

I. *Descrição dos componentes.*

O Arduino utilizado foi o Mega 2560 R3 por ser a placa mais comumente utilizada, possuindo baixo custo e fácil acesso para a elaboração de códigos de programação. Esse dispositivo será responsável pela aquisição de dados (DAQ) dos sensores utilizados.

As características do Arduino Mega 2560 R3 estão na Quadro3.

Quadro 3 – Características do ArduinoMega 2560 R3.

Microprocessador	ATmega2560
Voltagem de operação	5 V
Voltagem de entrada	7-12 V
Pinos de entrada/saída digital	54 (15 possuem saída PWM)
Pinos de entrada analógica	16
Corrente DC por pino digital	20 mA
Corrente por pino de 3.3V	50 mA
Clock	16 MHz

Fonte: Autoria Própria.

Os sensores utilizados foram: MQ-9 (medição de CO, na faixa de 10 a 1.000 ppm), MQ-135 (medição de CO₂, na faixa de 10 ppm à 1000 ppm) e DHT-11 (medição de temperatura, na faixa de 0 a 50°C, e umidade na faixa de 20 a 90%).

Para o desenvolvimento do sistema, os sensores foram conectados ao microcontrolador Arduino Mega 2560 R3. A seguir a descrição dos sensores utilizados:

Módulo Sensor de Monóxido de Carbono MQ-9 - capaz de detectar gases Propano, Metano e Monóxido de Carbono, possuindo ótima sensibilidade de detecção. Utilizaremos

apenas para o gás CO. Para seu funcionamento, o MQ-9 trabalha com duas tensões diferentes. Se a detecção for exclusiva para o gás Monóxido de Carbono, a tensão será de 1,5V, mas, para a detecção de gás Metano, Propano e gases inflamáveis em geral a tensão de operação deverá ser de 5V. Sua faixa de detecção para o CO₂ vai de 10 ppm à 1000 ppm, demonstrando os dados junto a um display integrado ao Arduino. Suas dimensões de comprimento, altura e largura são 32mm, 22mm e 20mm respectivamente.

Sensor de Gás MQ-135- Detector de Gás utilizado principalmente no desenvolvimento de projetos eletrônicos, possuindo alta sensibilidade para detecção de Amônia, Óxido Nítrico, Álcool, Benzeno, Dióxido de Carbono e Fumaça, acoplado ao Arduino. Quando o MQ-135 detecta a presença dos gases mencionados, afere sua concentração, enviando os sinais para o Arduino. Para este trabalho, apenas o CO₂ será analisado. O MQ-135 tem capacidade de verificar a concentração de Gás CO₂ com intervalo de 10 ppm à 1000 ppm, informando os dados através de um display integrado ao Arduino. A tensão utilizada para este sensor é de 1,5V. Suas dimensões de comprimento, altura e largura são 32mm, 20mm e 18mm respectivamente.

sensor DHT-11- Sensor de temperatura e umidade com um sinal digital em sua saída. Aplicação de módulos digitais dedicados a tecnologia de coleta e a tecnologia de detecção garantem excelente estabilidade e confiabilidade longo prazo. Um microcontrolador de alta performance de 8 bits garante isto no encapsulamento do módulo. O elemento sensor de temperatura é um termistor (elemento resistivo) do tipo NTC e o sensor de Umidade é do tipo HR202. O circuito interno faz a leitura dos sensores e se comunica a um microcontrolador através de um sinal serial de uma via. Possui excelente qualidade, resposta rápida, com calibração precisa, habilidade de anti-interferência e vantagens antes só encontradas em dispositivos de alto custo. A faixa de temperatura recomendada para leitura: 0°C a 50°C. Sua precisão de medição de temperatura é de ± 2.0 °C. Suas dimensões de comprimento, altura e largura são 23mm, 12mm e 5mm respectivamente.

Para armazenamento dos dados coletados, utilizou-se o Módulo Cartão SD Card e Cartão de Memória 8GB MicroSd.

O módulo permite a leitura e escrita em cartão SD, com fácil ligação ao Arduino e outros microcontroladores. Todos os pinos de ligação estão identificados no módulo, que suporta formatos de arquivo FAT16 e FAT32, e alimentação de 3.3V ou 5V. Suas especificações estão na Tabela 10.

Tabela 10 – Características do Módulo Cartão SD Card.

Tensão de entrada	5v ou 3,3v
Interface SPI	MOSI, SCK, MISO e CS
Dimensões:	5.1 x 3.1cm
Formatação	FAT16 ou FAT32

Fonte: Autoria Própria.

O Cartão de Memória 8GB MicrosdSandisk adiciona instantaneamente espaço de armazenamento a qualquer dispositivo com slot de cartão de memória microSD/microSDHC. Com ele você consegue gerar espaço para armazenamento de dados no Arduino além de expandir a memória de outros dispositivos, como smartphone, tablets e embarcados como o RaspberryPi. No RaspberryPi.

O cartão é totalmente compatível com celulares, laptops, tablets e outros dispositivos que trabalham com o formato microSDHC e são capazes de gravar horas de vídeo HD (720 p), 2400 fotos (com qualidade de 10 MP), 16 horas de vídeo (760 Kbps) ou 2000 músicas de MP3 de 3,5 min. A Tabela 11 mostra a especificação do cartão Cartão de Memória 8GB MicrosdSandisk.

Tabela 11 – Características do Cartão de Memória 8GB MicrosdSandisk.

Tipo	MicroSD
Taxa de gravação	3 MB/s
Capacidade	8GB
Taxa de leitura:	10MB/s
Dimensões cartão	15 x 11 x 1mm
Dimensões leitor	45 x 19,5 x 10mm

Fonte: Autoria Própria.

Para a execução do projeto um Protoboard juntamente com jumpers foram utilizados. O protoboard 830 Pontos. Este protoboard. Possui 830 pontos com barras de distribuição demarcadas e a parte de trás é adesiva, permitindo assim colar em superfícies diversas.

Os jumpers possuem a responsabilidade de desviar, ligar ou desligar o fluxo elétrico, cumprindo as configurações específicas do seu projeto. Dois kits foram adquiridos. Um kit Jumpers Macho-Macho com 65 unidades e um Kit Macho- Fêmea com 40 unidades. A Tabela 12 mostra a especificação dos o jumpers.

Tabela 12 – jumpers Macho-Macho e Macho- Fêmea.

Macho-Macho	Macho- Fêmea
49 – Jumpers 110mm	Secção do fio condutor: 24 AWG, Comprimento do cabo: 20cm Largura do conector: 2,54mm
08 – Jumpers 149mm	
04 – Jumpers 200mm	
04 – Jumpers 240mm	

Fonte: Autoria Própria.

A fonte de alimentação do Arduino utilizada foi a Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4. Esta Fonte DC Chaveada 9V com plug P4 é ideal para alimentar as placas Arduino pois se encaixa perfeitamente e tem corrente de saída igual a 1A. A fonte é bivolt, ou seja, ajusta automaticamente a energia de entrada, podendo ser utilizada em 127V ou 220V. Muito leve, possui plug no padrão universal, o que evita a necessidade de utilização de adaptadores.

Para a visualização dos dados, um display foi instalado. O Display LCD 20×4 Backlight Azul. Utilizado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino, RaspberryPi e PIC, podendo ser operado em 4 ou 8-bits paralelamente. Este display é uma ótima opção se você precisa exibir várias informações, que muitas vezes não cabem em um Display LCD 16×2. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle. A Tabela 13 mostra as especificações do Display LCD 20×4 Backlight Azul.

Tabela 13 – Especificações do Display LCD 20×4 Backlight Azul.

Cor	backlight: Azul
Cor escrita	Branca
Dimensão total	98,0 X 60,0 X 14,0mm
Dimensão área visível	76,0 X 26,0mm
Dimensão caracter	–: 2,94 X 4,74mm
Dimensão ponto	–: 0,54 X 0,54mm

Fonte: Autoria Própria.

O custo de cada componente para a elaboração do MGA consta na Tabela 14. O valor total de todos os componentes foi de R\$ 299,10.

Tabela 14 – Custo por componentes do MGA.

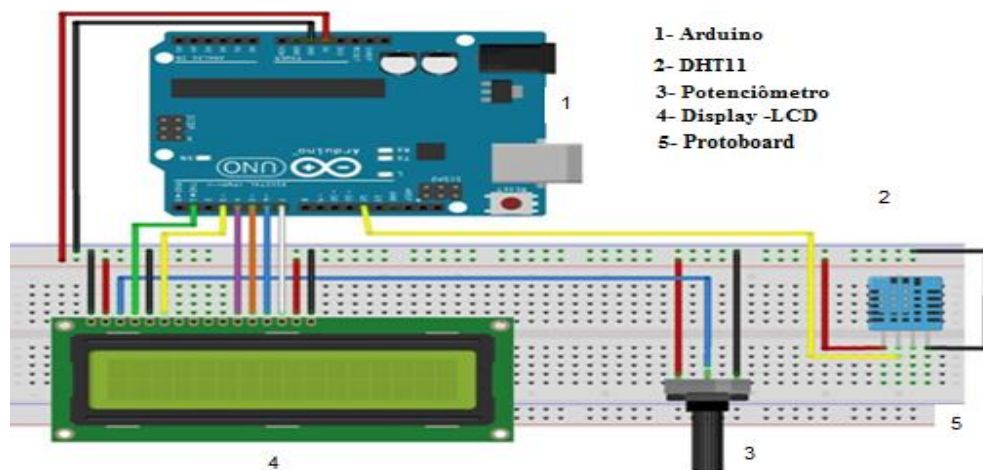
Componente	Quantidade (Kit)	Preço (R\$)
Arduino MEGA 2560	1	75,90
Sensor de Gás MQ-9 Monóxido de Carbono	1	11,50
Sensor de Gás MQ-135	1	14,00
Sensor de temperatura e humidade DHT11	1	11,00
Módulo Cartão SD Card	1	10,00
Cartão de Memória 8GB MicroSd	1	34,90
Fonte DC Chaveada 9V 1A Plug P4	1	11,90
Protoboard 830 Pontos	1	11,90
Display LCD 20×4 Backlight Azul	1	31,90
Resistors e capacitores	1	50,00
Potenciômetro Trimpot 10KΩ	1	2,40
Cabo USB	1	12,90
Junpers Macho-Macho e Macho - Fêmea	1	20,80

Fonte: Autoria Própria.

II. Montagem

A montagem se inicia com a conexão do Arduino com a placa Protoboard 830 Pontos, através dos Junpers. Na sequência, instalamos o Display LCD, Potenciômetro e o sensor DHT11. O esquema do início da montagem do medidor de gases está mostrado na Figura 11.

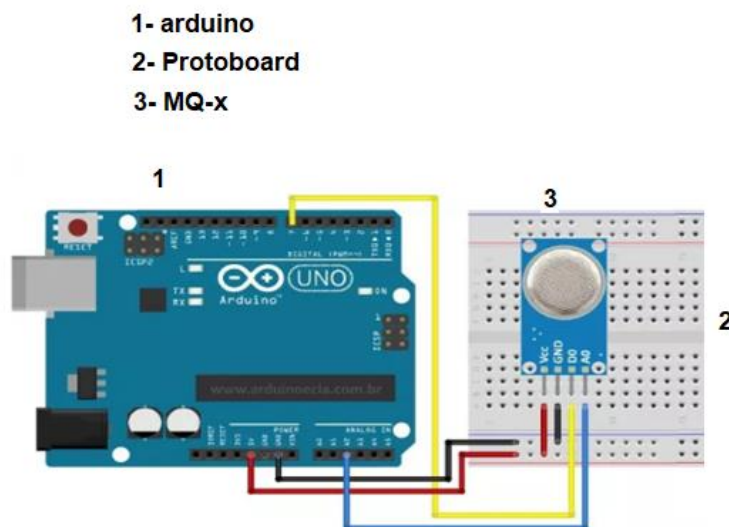
Figura 11 – Esquema parcial do medidor de Gases.



Fonte: Autoria Própria.

Introduzimos os sensores MQ-9 e MQ-135. A ligação da família dos MQ-x são da mesma forma. A ligação do sensor MQ-x no Arduino acontece de acordo com a Figura 12.

Figura 12 – Esquema da instalação do MQ-x.

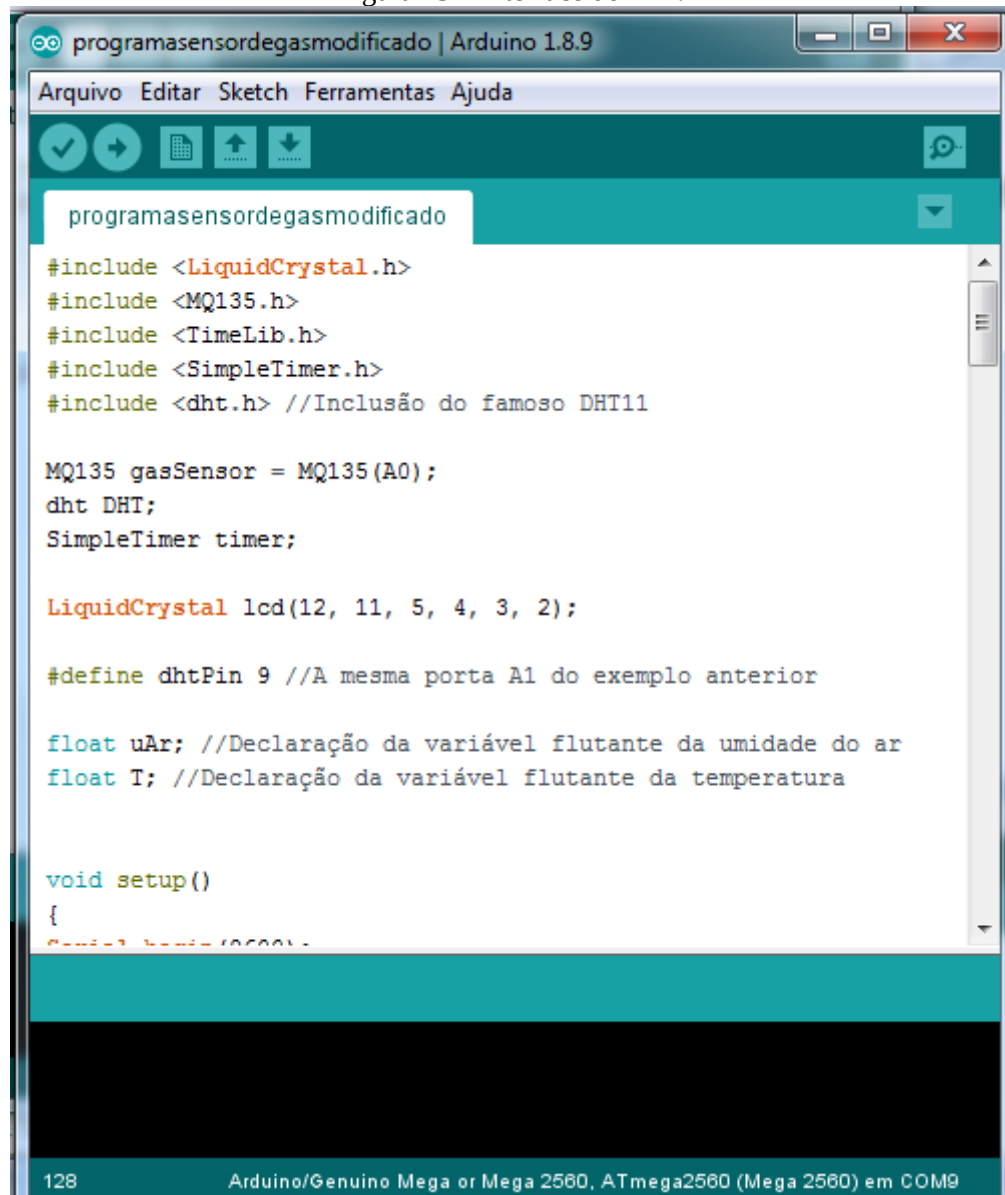


Fonte: Autoria Própria.

III. Programação

Após a ligação dos componentes na placa do Arduino Mega, a próxima etapa consistiu em desenvolver a programação e calibrar os sensores. A programação foi realizada com linguagem própria, em um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE). IDE é o espaço onde se realiza a programação da placa e foi adquirido no site oficial do Arduino (ARDUINO, 2019). A Figura 13 mostra a interface do IDE.

Figura 13 – Interface do IDE.



Fonte: Autoria Própria.

Toda a programação considerou as informações fornecidas pelo Datasheet dos elementos.

IV. Calibração

Para a calibração utilizando o CO, o MGA construído é colocado juntamente com KR1000 CarbonMonoxide Meter em um recipiente. O Recipiente escolhido foi um garrafão de água mineral de 20 litros. Uma mangueira de borracha de dimensões 3cm de espessura e 1,5 m de comprimento foi acoplada na abertura do garrafão. Um extensor de borracha foi acoplado na outra extremidade da mangueira para a conexão com o escape do automóvel. Uma abertura retangular 20cm x 10cm foi feita no garrafão para a introdução dos aparelhos para a coleta do gás. A sobra do corte realizado foi utilizada para a elaboração de uma tampa para lacrar o recipiente após a introdução dos medidores. O recipiente com a mangueira está representado na Figura 14.

Figura 14 – Aparato utilizado para a calibração do Medidor de Gases.



Fonte: Autoria Própria.

O automóvel é ligado, a mangueira é conectada ao seu escape para a injeção dos gases no recipiente. Após aproximadamente 10s, a mangueira é retirada do escape e é fechada. Espera-se o medidor com KR1000 CarbonMonoxide Meter estabilizar para coletar o primeiro valor da porta do medidor de gases elaborado. Após a primeira coleta, a mangueira é aberta, para a concentração no recipiente diminuir. A mangueira é novamente fechada, esperando o KR1000 CarbonMonoxide Meter novamente estabilizar para coletar a segunda medida da porta do medidor de gases elaborado. Este procedimento é repetido por 20 vezes. Teremos 20 valores

oficiais (corretos através do KR1000 CarbonMonoxide Meter) em ppm e 20 valores recebidos pelo Arduino a serem corrigidos (valores da porta). Para a calibração do medidor de gases utilizando o CO₂, o medidor construído é colocado dentro do recipiente com instrumento KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade. O procedimento acontece da mesma forma para o CO. Teremos 20 valores oficiais em ppm e 20 valores da porta.

Através dos dados coletados (dados da porta), calculou-se a razão R_S/R_L . Utilizando o Programa Origin, gráficos de R_S/R_O em função da concentração dos gases medidos foram construídos. A função que relaciona as grandezas foi estabelecida e introduzida na programação do Arduino completando o processo de calibração.

Após a montagem dos componentes, a programação foi realizada. O software implementado para o sistema consiste na leitura dos dados. Para a leitura o software entra em um loop, que finaliza apenas com o desligamento ou reinicialização do sistema, realizando as seguintes tarefas:

1 - Primeiro ele faz uma leitura do sensor DHT11 obtendo os valores de temperatura e umidade.

2 - Em seguida realiza a leitura do sensor MQ-135 obtendo uma relação R_S/R_L . O software usa esses valores como entrada na função matemática elaborada no processo de calibração e introduzida através da programação, gerando valores confiáveis de CO₂ em ppm. As informações são enviadas para o display do medidor.

3. Na sequência, realiza a leitura do MQ-9 também obtendo a relação R_S/R_L . Da mesma forma o software usa esses valores como entrada na função matemática elaborada no processo de calibração para o CO e introduzida através da programação, gerando valores confiáveis de CO em ppm. As informações são enviadas para o display do medidor. A Figura 15 mostra a interface com o usuário em diversas etapas do software.

Figura 15 – Interface do sistema.





Fonte: Autoria Própria.

3.3.5 Medidas do Monóxido de Carbono e Dióxido de Carbono na atmosfera em três áreas distintas

A medição da concentração do CO₂ no ambiente foi realizada com o MGA e com o Instrumento KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade. A medição da concentração do CO no meio ambiente foi realizada apenas com KR1000 Carbon Monoxide Meter (Medidor de Monóxido de Carbono) pelo motivo de a concentração de CO no ambiente ser inferior ao valor mínimo detectável pelo sensor de CO utilizado no MGA construído. Foram escolhidos três pontos da cidade que fornecessem condições de aferir as concentrações máximas de CO e CO₂ no ambiente, relacionando-as com a presença e ausência veicular, como também com o nível de arborização da região. Por essa razão, determinou-se os pontos (Figura 16) com presença veicular e sem arborização (1), com presença veicular e com arborização (2), e apenas com arborização (3), a saber:

- Ponto 1 (com presença veicular e sem arborização): Avenida Governador Agamenon Magalhães nas mediações da praça do Derby, Derby, Recife- PE (8°03'20.1"S; 34°53'53.3"W).
- Ponto 2 (com presença veicular e com arborização): BR- 232, km 7,5 - Curado - Recife- PE(8°04'24.3"S; 34°57'45.9"W)
- Ponto 3 (sem presença veicular e com arborização): Parque da Jaqueira, Avenida Rui Barbosa, Graças, Recife- PE (8°02'10.8"S; 34°54'17.9"W).

Figura 16 – Localização dos pontos escolhidos.



Fonte: Autoria Própria.

- Caracterização dos pontos

1- Avenida Governador Agamenon Magalhães: De acordo com a Companhia de Trânsito e Transporte Urbano (CTTU, 2018), a Agamenon Magalhães é a via com maior fluxo de carros do Recife. Em horários de pico, os dois sentidos da avenida chegam a somar quase 10.000 veículos por hora. Por dia, nos dois sentidos, trafegam em torno de 100 mil veículos.

O trecho, com baixa arborização, serve como saída de importantes vias da Zona Norte do Recife (como Rua Amélia, Rua da Hora e Avenida Rui Barbosa), e compreende também os veículos que seguem de Olinda para a Zona Sul da capital cruzando a cidade do Recife. O trânsito é um dos principais problemas enfrentados nesta via. A Figura 17 mostra a Agamenon Magalhães no início da noite. Esta avenida foi escolhida por apresentar grande fluxo veicular com baixa arborização.

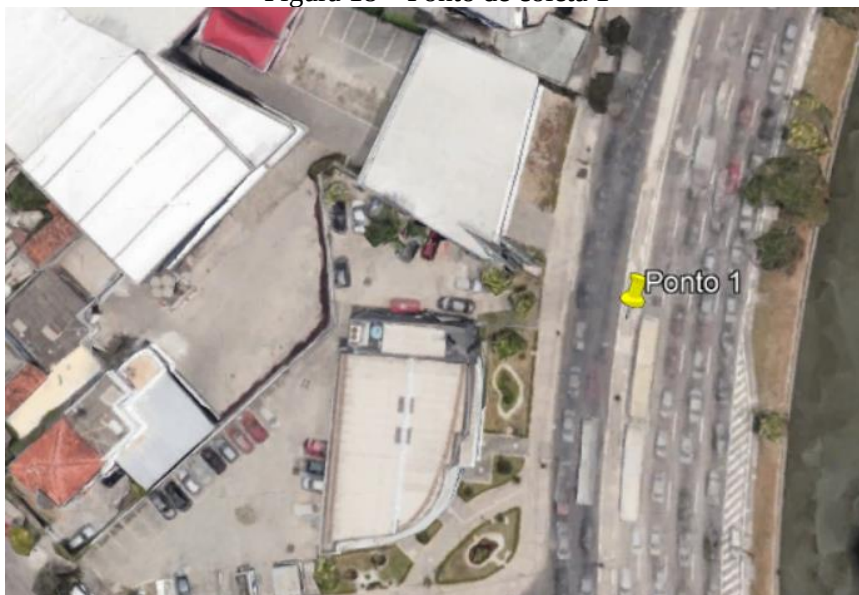
Figura 17 – Avenida Governador Agamenon Magalhães



Fonte: Autoria Própria.

As concentrações foram coletadas na calçada que fica entre a faixa principal da via e a faixa interna. Todas as medições foram realizadas a uma altura do solo de 1,5m. A Figura 18 mostra as mediações do ponto de coleta 1.

Figura 18 – Ponto de coleta 1



Fonte: Autoria Própria.

2- **BR- 232, km 7,5:** O trecho da BR-232 escolhida para o estudo é um dos principais acessos à cidade do Recife- PE, ligando-a ao interior de Pernambuco. Muitas pessoas

que trabalham em Recife- PE, mas não moram na cidade, utilizam esse trecho da BR-232 localizada no bairro do Curado como via diária e obrigatória. Isso faz com que essa região tenha grande movimentação veicular, principalmente nos horários de pico. Diferente da Avenida Governador Agamenon Magalhães, essa região da BR -232 possui grande área verde. Sentido da capital para o interior, no lado direito temos Comando Militar do Nordeste (CMNE), com uma grande reserva de mata atlântica. Sentido interior para a capital, temos no lado direito o Jardim Botânico do Recife com uma grande área de mata atlântica. O grande fluxo de veículos nos horários de pico, das 7h às 8h e das 17h às 18h, juntamente com as interrupções da via como lombadas eletrônicas e buracos, contribuem com grandes congestionamentos (ICPS, 2018). Como esse trecho da BR-232 possui alto fluxo veicular e com grande concentração de área verde. A Figura 19 mostra um trecho da BR232 nos horários de pico.

Figura 19 – BR 232, Recife.



Fonte: Autoria Própria.

As medidas foram realizadas na calçada na margem da BR232 sentido oeste (saída da cidade). De acordo com pesquisa realizada pela BBC (2016) a média da estatura para os homens é de 1,73m e para as mulheres é de 1,6m. Todas as medições foram realizadas a uma altura de 1,5m do solo, sendo abaixo da estatura de menor valor médio. A Figura 20 mostra a localização do Ponto 2.

Figura 20 – Localização do Ponto de coleta 2



Fonte: Autoria Própria.

3- Parque da Jaqueira: Localizado na Zona Norte do Recife, o parque da Jaqueira possui um sítio histórico com sete hectares de área verde, ostentando o título de maior parque público da cidade até 2014 quando foi inaugurado o Parque Urbano da Macaxeira (PREFEITURA DO RECIFE, 2018). A Figura 21 mostra o Parque da Jaqueira.

Figura 21 – Parque da Jaqueira, Recife.

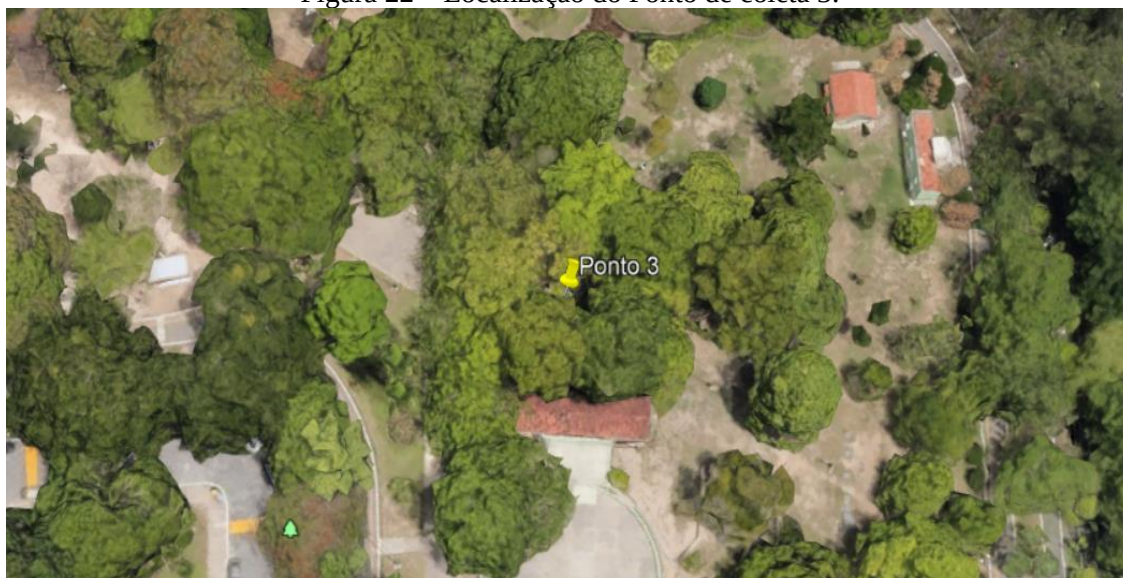


Fonte: Autoria Própria.

O parque foi escolhido por apresentar grande área verde com ausência permanente de veículos em seu interior. As medidas foram realizadas no centro do parque. Ao lado do parque, existe uma via de grande fluxo veicular, a avenida Rui Barbosa. O objetivo é avaliar as

concentrações de CO e CO₂ presentes na atmosfera em uma região de grande área verde, dentro do parque, onde a influencia veicular ocorre a uma maior distância. A Figura 22 mostra a localização do ponto de coleta 3.

Figura 22 – Localização do Ponto de coleta 3.



Fonte: Autoria Própria.

Em todos os pontos escolhidos, as coletas foram realizadas durante uma semana (segunda a domingo) no mês janeiro e julho contemplando o período do verão e do inverno. Foram realizadas duas coletas por dia, de forma concomitante para CO, CO₂, Umidade do ar e temperatura. Uma coleta durante a manhã de 7 às 8h, outra no fim da tarde de 17 às 18h que são os horários considerados de pico (ICPS, 2018). O medidor de CO KR1000 CarbonMonoxide Meter fornece os valores de forma contínua. Os valores foram coletados de minuto em minuto, realizando a média durante o período de medição (Uma hora pela manhã e uma hora no período da tarde). A coleta da concentração de CO₂, foi realizada com KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade e com o MGA. As medidas de temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas com o KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade. O equipamento KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade fornece os dados de forma contínua. Como no KR1000, as medições foram feitas de minuto em minuto, realizando a média durante o período de medição. O MGA apresenta medidas de dez em dez segundos. A média foi calculada para o período de coleta.

A análise dos dados foi realizada através da construção de gráficos da concentração média de CO e de CO₂ em função dos dias da semana para cada horário de coleta. Os valores médios para a construção dos gráficos foram calculados com suas respectivas dispersões através

do Desvio Padrão (DP). As variações percentuais dos valores medidos foram analisadas utilizando seus valores médios. Correlações entre os pontos de coleta para o mesmo período de medição foram realizadas.

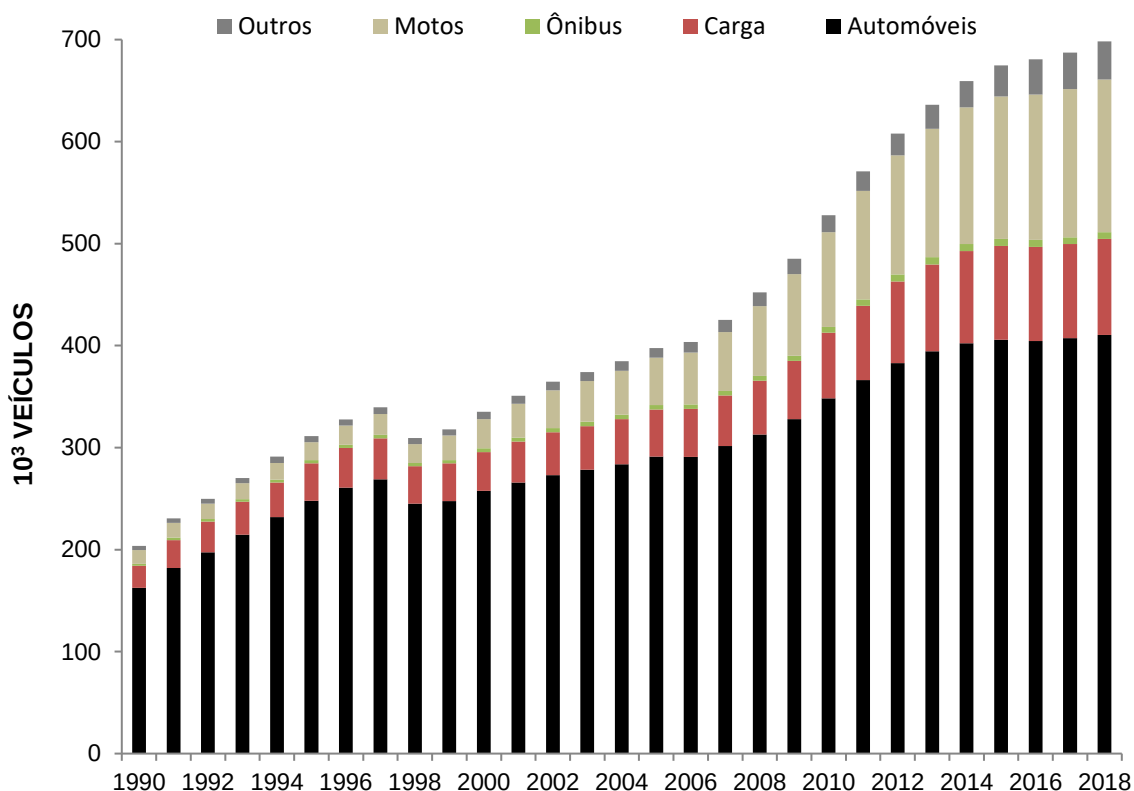
A comparação das concentrações de CO₂ utilizando Instrumentos diferentes foi realizada para verificar a viabilidade do MGA. Os valores das concentrações de CO e de CO₂ foram comparados com os valores limites de qualidade do ar considerados sem risco. A análise do efeito dessas concentrações na saúde foi realizada. Como as medições foram realizadas durante toda a semana, os valores coletados no sábado e domingo para os pontos 1 e 2, representam concentrações atmosféricas com baixo fluxo veicular (ICPS, 2018). Para os pontos 1 e 2, a comparação da concentração dos gases para cada dia da semana foi realizada mostrando a influência dos veículos na concentração de gases coletada. A correlação entre os valores das concentrações dos gases na atmosfera e das emissões veiculares anuais foi realizada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DA FROTA

No período de 1990 a 2018, a frota de ônibus passou de 1.811 em 1990 para 6.612 em 2018 representando um aumento de aproximadamente 265%. A frota de veículos de carga passou de 21.723 em 1990 para 94.328 em 2018, expressando um crescimento de 334% aproximadamente. Já a frota de moto, em 1990 era de 13.414 e passou a 149.617 em 2018 apresentando um aumento de 1015% aproximadamente. A frota de automóveis era de 162.450 em 1990 e de 410.318 em 2018 apresentando um crescimento de 153% aproximadamente. A evolução da frota modal da cidade do Recife de 1990 a 2018 está representada no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Evolução da frota veicular modal da cidade do Recife



Fonte: Autoria Própria.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), a população da cidade do Recife em 1991 (censo 1991) era de 1.310.259 habitantes. Estimativas do IBGE (2019), a população de Recife passou para 1.637.834 habitantes em 2018. Apresentou

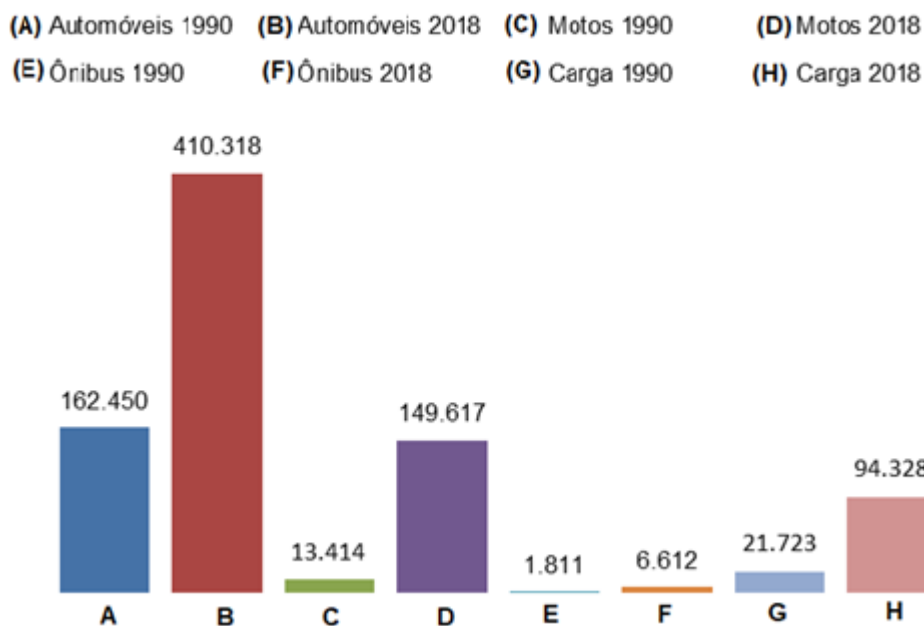
aumento de 327.575 habitantes na cidade correspondendo a um crescimento percentual de aproximadamente 25%. Fazendo um comparativo no mesmo intervalo de tempo, a cidade do Recife em 1991 havia 203.608 veículos e terminou o ano de 2018 com uma frota total de 698.167 veículos. Isso corresponde a um acréscimo de 494.559 veículos na cidade representando um crescimento percentual de 243%. Conclui-se que o crescimento percentual da frota supera o crescimento percentual populacional no período analisado.

Esse aumento acentuado da frota veicular se deve ao crescimento populacional associado aos incentivos do governo através da redução de impostos, e crescimento econômico da região. A região metropolitana do Recife apresentou durante certo período, elevado crescimento econômico, tornando-se uma região de oportunidades, atraindo profissionais de diversas regiões do país, e até mesmo do mundo. O crescimento da demanda durante os anos fez com que a frota do transporte público crescesse 1990 a 2015. Mas, mesmo com o crescimento populacional a partir de 2015, a frota de ônibus reduziu de 2015 a 2018. Por outro lado, mesmo apresentando crescimento na frota de ônibus de 1990 a 2015, a deficiência do transporte público, juntamente com a elevação do poder econômico da população, contribuiu com o aumento significativo dos automóveis e motos na região (ANTP, 2018).

Observa-se que a frota de automóveis, cargas e motos apresentam uma maior taxa no crescimento a partir do ano de 2006, possível reflexo do aumento do crescimento econômico da região com a instalação em 2005 da Refinaria General José Inácio Abreu e Lima no Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros. Observa-se que a partir de 2014, houve uma queda na taxa de crescimento para praticamente todas as modalidades, tendo redução nos casos de ônibus e automóveis a partir de 2015. A frota de automóveis em 2015 era de 405.690 sofrendo redução para 404.591 em 2016, voltando a crescer para os anos subsequentes. A frota de ônibus em 2015 era de 7.041 sofrendo redução até 2018 com 6.612 ônibus.

O Gráfico 2 mostra o comparativo da quantidade de veículos por tipo para o ano de 1990 a 2018.

Gráfico 2 – Veículos automotivos na cidade do Recife em 1990 e 2018

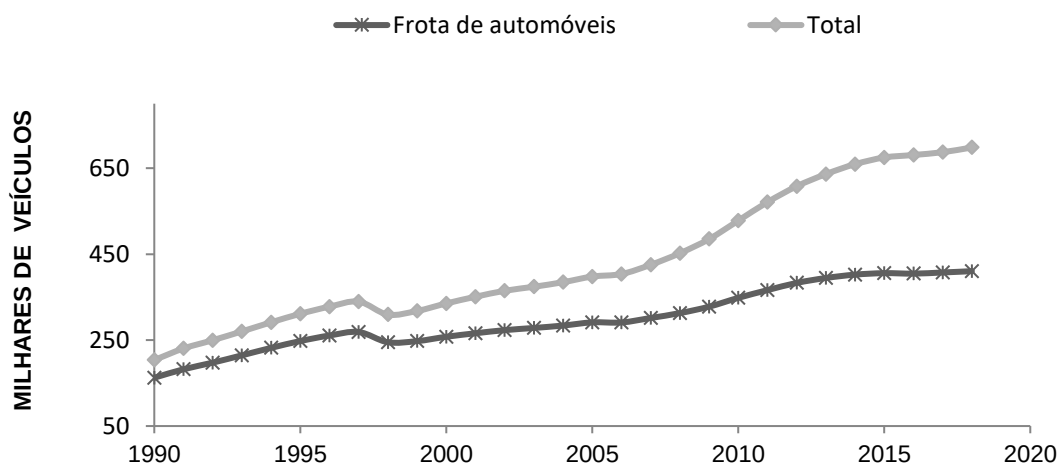


Fonte: Autoria Própria.

O Gráfico 3 mostra a evolução da frota total veicular e a evolução da frota de automóveis na cidade do Recife durante os últimos 28 anos (1990 a 2018). Em 1998 houve um recadastramento, refletindo em uma diminuição repentina da mesma. Esta variação pode ser observada no comportamento da evolução da frota de automóveis e da frota total veicular (Gráfico 3).

Observa-se através da curva de evolução da frota total, um aumento da taxa de crescimento iniciado em 2006. Este aumento confirma o bom momento econômico da região, contribuindo para o crescimento da frota total. A curva da frota dos automóveis também apresenta um aumento da taxa de crescimento iniciado em 2006. O aumento do poder econômico da população, a deficiência do transporte público, e incentivo do governo através de benefícios fiscais, são fatores que contribuem com esse aumento significativo da taxa de crescimento dos automóveis na região (PENNA; REZENDE FILHO, 2011; ANTP, 2011). Comparando a frota total com a de automóveis, em meados de 2006 o crescimento da frota total supera o crescimento da frota de automóveis mostrando crescimento significativo dos outros tipos de veículos. Essa diferença de crescimento da frota é justificada pelo aumento do desenvolvimento econômico do período a partir da instalação da refinaria na região.

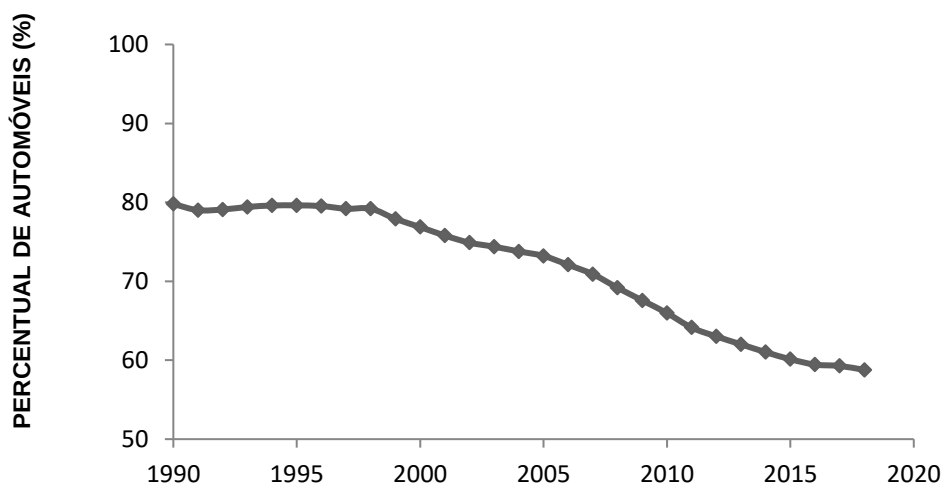
Gráfico 3 – Evolução da frota total veicular e da frota dos automóveis da cidade do Recife- PE



Fonte: Autoria Própria.

A representação percentual da frota de automóveis em relação à total para cada ano (Gráfico 4) mostra que o crescimento da frota de automóveis não está acompanhando o crescimento da frota veicular total, fazendo com que a razão diminua com o passar dos anos. Esta diminuição deve-se ao crescimento elevado dos outros tipos de veículos automotivos, principalmente de motos.

Gráfico 4 – Evolução percentual dos automóveis em relação à frota da cidade do Recife- PE



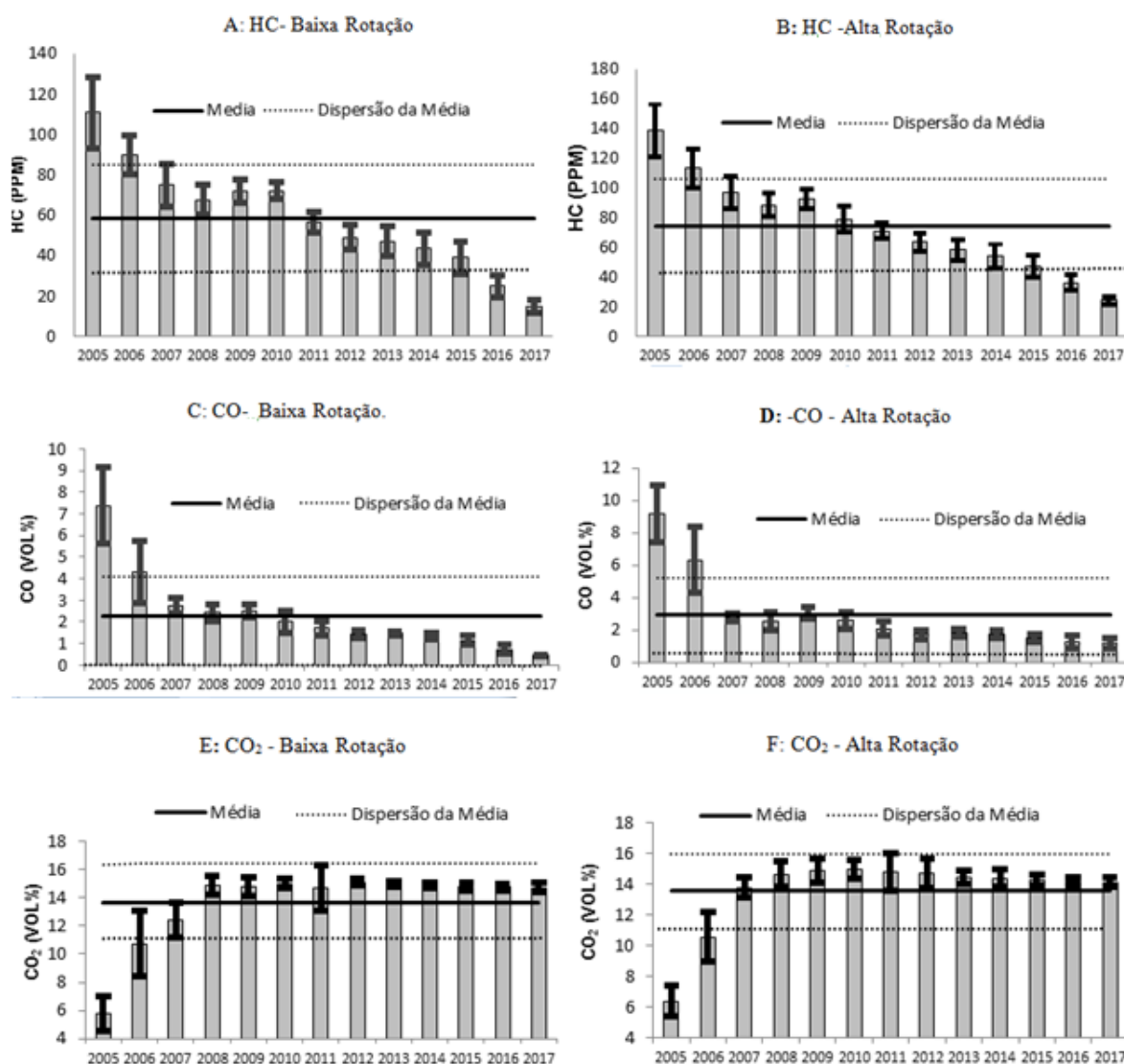
Fonte: Autoria Própria.

O possível aumento da frota veicular da cidade do Recife pode contribuir com as emissões de gases e material particulado para a atmosfera, tanto no valor total anual emitido como na evolução temporal das emissões anuais totais.

4.2 EMISSÃO VEICULAR EM MARCHA LENTA

A figura 23 mostra os valores médios das emissões de HC, CO e CO₂ por ano de fabricação com seus intervalos de dispersão, bem como o valor da média das médias anuais com seu intervalo de dispersão, para baixa rotação e alta rotação.

Figura 23 – Emissão veicular em marcha lenta dos HC, CO e CO₂



Fonte: Autoria Própria.

Em relação aos HC, para baixa rotação, os valores médios de emissão por ano de fabricação do automóvel diminuem com o passar do tempo apresentando uma redução percentual de aproximadamente 86,8% considerando veículos dos anos de 2005 a 2017. Para baixa rotação a média dos valores médios anuais(ano de fabricação) foi de 58,5ppmvol com IC de 14,3 ppmvol e DP de 26,3 ppm vol.

Observa-se que para baixa rotação, comparando veículos do ano de 2005 com veículos do ano de 2017, percebe-se uma redução significativa nas emissões para os HC em relação a média das médias anuais, já que os valores das médias anuais possuem um intervalo de dispersão sem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais.

Para alta rotação, os valores médios de emissão dos HC por ano de fabricação do automóvel também, diminuem com o passar do tempo apresentando uma redução percentual de aproximadamente 82,4% considerando veículos dos anos de 2005 a 2017.

Para alta rotação a média dos valores médios anuais(ano de fabricação) foi de 74,2ppmvol com IC de 17,3 ppmvol e DP de 31,8 ppm vol.

Observa-se que para alta rotação, comparando veículos do ano de 2005 com veículos do ano de 2016 em diante, observa-se uma redução significativa nas emissões para os HC, já que os valores das médias anuais possuem um intervalo de dispersão sem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais.

Para os HC, observou-se que as grandes concentrações emitidas pelos automóveis mais antigos são justificadas pela combinação de dois fatores: a idade e a quilometragem do veículo. Medidas realizadas em veículos de idade diferente e mesma quilometragem mostraram que os mais antigos poluem mais. Medidas realizadas em veículos de mesma idade, mas de quilometragens diferentes mostraram que aqueles que apresentaram maior quilometragem percorrida poluem mais. De acordo com a CETESB (2018) o desgaste do motor contribui com o aumento das emissões de hidrocarbonetos por prejudicar o processo de combustão, mostrando que este resultado era esperado.

Para o CO, os valores médios por ano de fabricação apresentaram diminuição percentual de aproximadamente 93,9% para baixa rotação. A média dos valores médios anuais foi de 2,3vol% com IC (95%) de 1,0vol% e DP de 1,8 vol%. Observa-se que, para baixa rotação, a variação os valores médios anuais em relação à média das médias anuais sofreram queda de 2005 a 2006, permanecendo sem variação significativa daí em diante, já que os intervalos de dispersão das médias anuais possuem intersecção com o intervalo da dispersão da média das médias anuais. Comparando veículos de ano 2005 com veículos de ano 2017, observa-se uma redução significativa.

Para alta rotação, os valores médios por ano de fabricação de CO apresentaram diminuição percentual de aproximadamente 87,2%. A média dos valores médios anuais foi de 2,9 vol% com IC (95%) de 1,2 vol% e DP de 2,3 vol%. Semelhante ao que aconteceu para baixa rotação, observa-se que a variação dos valores médios anuais em relação à média das médias anuais sofreu queda de 2005 a 2006, permanecendo sem variação significativa daí em diante, já que os intervalos de dispersão das médias anuais possuem intersecção com o intervalo da dispersão da média das médias anuais. Comparando veículos de ano 2005 com veículos de ano 2017, observa-se também uma redução significativa.

De acordo com o Tangestani e Meghdadi (2019) a redução da emissão do CO representa uma melhoria no processo de mistura (combustível + ar) na câmara de combustão, diminuindo o percentual de combustível em relação à quantidade de oxigênio. Essa redução do CO acarreta num aumento de CO₂ devido à maior quantidade de átomos de oxigênio interagindo com átomos de carbono.

Da mesma forma que nos HC, os resultados mostraram que as grandes concentrações emitidas pelos automóveis mais antigos são resultadas da combinação de dois fatores: a idade do veículo e a quilometragem do veículo, por possuir uma combustão ineficiente (tecnologia ultrapassada) e um desgaste dos componentes do motor respectivamente.

Para o CO, as medidas realizadas em veículos de idade diferentes e mesma quilometragem mostraram que os mais antigos poluem mais. Nos veículos com mesma idade, mas com quilometragens diferentes os que rodaram mais poluem mais também. Este resultado confirma que o desgaste do motor contribui para o aumento de emissão de CO (CETESB, 2012).

Em relação ao CO₂, para baixa rotação, os valores médios por ano de fabricação apresentam crescimento percentual de 154,0 % apresentando o valor mínimo de 5,79 vol% em 2005 e máximo de 15,12 vol% em 2012. A média dos valores médios por ano de fabricação foi de 13,7 vol%, com IC (95%) de 1,5 vol% e DP de 2,7 vol %. O Gráfico 9 mostra os valores médios das emissões do CO₂ por ano de fabricação com seus intervalos de dispersão, e o valor da média das médias anuais com seu intervalo de dispersão, para baixa rotação.

Observa-se que as emissões médias anuais em relação à média das médias anuais, sofreram crescimento significativo para veículos de 2005 a 2006, não apresentando variação significativa a partir de 2006, devido ao fato do intervalo de dispersão das médias anuais possuírem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais. Comparando veículos de ano 2005 com ano 2017, observa-se um crescimento significativo.

Para alta rotação, os valores médios por ano de fabricação de CO₂ apresentam crescimento percentual de 120,3 % apresentando o valor mínimo de 6,41vol% em 2005 e máximo de 14,95vol% em 2010. A média dos valores médios anuais foi de 13,5vol%, com IC (95%) de 1,3vol% e DP de 2,4vol %.

Observa-se que as emissões médias anuais em relação à média das médias anuais, sofreram crescimento significativo para veículos de 2005 a 2006 da mesma forma que em baixa rotação. Não apresenta variação significativa a partir de 2006, devido ao fato do intervalo de dispersão das medias anuais possuírem intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais. Comparando veículos de ano 2005 com ano 2017, observa-se um crescimento significativo.

Esse aumento da emissão de CO₂ representa uma melhoria no processo de combustão dos veículos, já que esse gás é um produto natural de uma reação estequiométrica. Desta forma, em relação à idade do automóvel (ano de fabricação), observa-se que o desenvolvimento tecnológico está contribuindo para a melhoria da queima, reduzindo a emissão de gases tóxicos como os HC e CO, mas aumentando o CO₂, emitido naturalmente no processo da combustão. Observa-se que, após crescimento acentuado de 2005 a 2006, houve certa estabilidade. Os valores médios anuais apresentam uma pequena queda de CO₂ para alta rotação, com o passar dos anos. Mas não podemos afirmar que essa redução é significativa, pois o intervalo de dispersão das medidas anuais possui intersecção com o intervalo de dispersão da média das médias anuais. Faz-se necessário mais medidas para confirmar uma possível redução. Uma redução na concentração de CO₂ pode representa uma evolução tecnológica na injeção de combustível, já que uma diminuição da quantidade de combustível na câmara de combustão reduz a emissão de CO₂ (MILHOR, 2002; HURTADO, 2013). Em baixas concentrações o CO₂ pequena toxicidade, mas em altas concentrações pode causar diversos problemas a saúde (CARVALHO, 2011).

Em relação à quilometragem percorrida, observa-se que o pequeno desgaste das peças do motor para os veículos de baixa quilometragem contribui para um melhor processo de combustão emitindo menos HC e CO e mais CO₂. Com o crescimento da quilometragem percorrida, as emissões de HC e CO apresentam crescimento, e do CO₂, redução. O aumento do desgaste dos componentes do motor faz com que o processo de combustão não aconteça da forma que deveria gerando outros gases e reduzindo o CO₂(CETESB, 2018). Para os automóveis analisados a degradação dos componentes do motor acontece num ritmo maior do que o desgaste dos dispositivos de injeção de combustível, pois houve redução de CO₂. A

degradação desses componentes de injeção contribui para um aumento de emissão desse poluente.

4.3 EMISSÕES TOTAIS ANUAIS

De 1990 a 2016, a frota anual média de automóveis foi de 294.730. O valor médio de automóveis novos incluídos na frota a cada ano é de 9.068, correspondendo a 3,1% da frota média de automóveis. Utilizando esse percentual, o quantitativo de automóveis usados e novos em 1990 foi de respectivamente 157.452 e 4.998. Em 1998, 2006 e 2016 houve recadastramento da frota proporcionando uma redução no valor da frota nesses anos. Considera-se que, veículos mais antigos deixaram de ser utilizados (veículos usados da frota de 1990).

4.3.1 Monóxido de Carbono

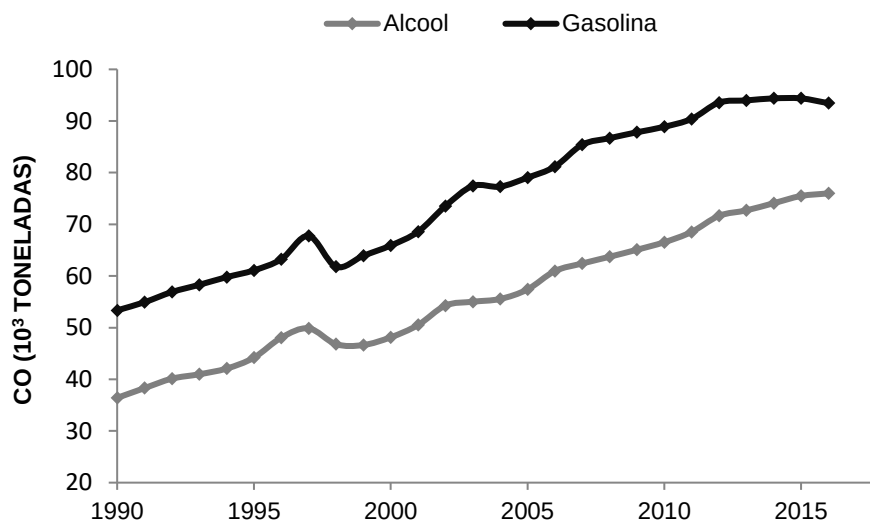
O valor médio para todos os anos dos totais anuais do CO emitidos por automóveis, considerando utilização do álcool, foi de 55.983,0 toneladas com DP de 12.379,7 toneladas e IC (95%) de 4.670 toneladas, atingindo valores extremos de dispersão de 68.362,7 toneladas (Máximo) e 43.603,3 toneladas (Mínimo). Os totais anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 108,7 %, do ano de 1990 a 2016 atingindo o valor máximo de 75.990 toneladas/ano em 2016. O valor total emitido do CO desde 1990 até 2016, utilizando apenas álcool seria de 1.511.542 toneladas.

Admitindo que os automóveis utilizem apenas gasolina, o valor médio para todos os anos dos totais anuais (1990 a 2016), foi de 75.297,5 toneladas com DP de 14.164,6 toneladas e IC (95%) de 5.342,9 toneladas, atingindo valores extremos de dispersão 89.462,1 toneladas (Máximo) e 61.132,9 toneladas (Mínimo).

Os totais anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 75,2 %, apresentando em 2014 seu valor máximo de emissão anual de 94.384 toneladas aproximadamente. De 2014 a 2016 ocorreu uma redução atingindo em 2016 o valor de 93.456 toneladas/ano aproximadamente. O valor total emitido de 1990 a 2016 foi de 2.033.033 toneladas.

O Gráfico 5 representa a evolução das emissões totais do CO para automóveis utilizando álcool e gasolina.

Gráfico 5 – A evolução das emissões totais de Monóxido de Carbono para os automóveis utilizando álcool e gasolina



Fonte: Autoria Própria.

Utilizando álcool, observa-se que a variação da emissão anual do intervalo de estudo (1990 a 2016) é maior do que o intervalo de dispersão da média. Sendo assim, o crescimento de CO de 1990 a 2016 é significativo para automóveis utilizando álcool.

Utilizando gasolina, observa-se que o crescimento das emissões anuais entre 1990 e 2016 é maior do que o intervalo de dispersão da média. Desta forma, o crescimento de CO de 1990 a 2016 também é significativo para automóveis utilizando gasolina.

Em uma queima ideal, não existe emissão de CO. Mas em uma queima real, esse componente se faz presente. De acordo com o INMETRO (2017) a redução da emissão do CO representa uma melhoria no processo de mistura (combustível + ar) na câmara de combustão, diminuindo o percentual de combustível em relação à quantidade de oxigênio. Observa-se que os valores anuais de CO apresentaram aumento significativo de 1990 a 2016, apesar de ter ocorrido redução nas taxas de emissão por veículo, para veículos mais novos, disponibilizadas pela CETESB (2018). Isso mostra que, avanço tecnológico nos automóveis (reduções de emissão por veículo) não foi suficiente para a redução de emissão do CO. O crescimento da frota fez com que as emissões aumentassem. O efeito do crescimento da frota superou o efeito do desenvolvimento tecnológico.

Em algumas regiões com grande tráfego, a concentração de CO pode variar desde valores baixos a proporções extremas. Essa exposição pode causar desde uma intoxicação crônica ao CO, resultante de uma exposição prolongada a baixas concentrações ocasionando

efeitos tóxicos cumulativos como distúrbios visuais, alterações auditivas, síndrome de Parkinson, isquemia cardíaca, dentre outros, a problemas respiratórios mais sérios como cânceres (LACERDA; LEROUX; MORATA, 2005).

4.3.2 Dióxido de Carbono

Os totais anuais do CO₂ de 1990 a 2001 foram calculados utilizando a mesma taxa de emissão (198 g/Km) do ano de 2001, pela inexistência dos dados para os anos anteriores.

Considerando que os automóveis utilizaram apenas o álcool, o valor médio para todos os anos dos totais anuais (1990 a 2016), foi de 763.013,1 toneladas com DP de 177.015,1 toneladas e IC (95%) de 66.770,5 toneladas, atingindo valores extremos de dispersão 940.028,2 toneladas (Máximo) e 585.998,0 toneladas (Mínimo).

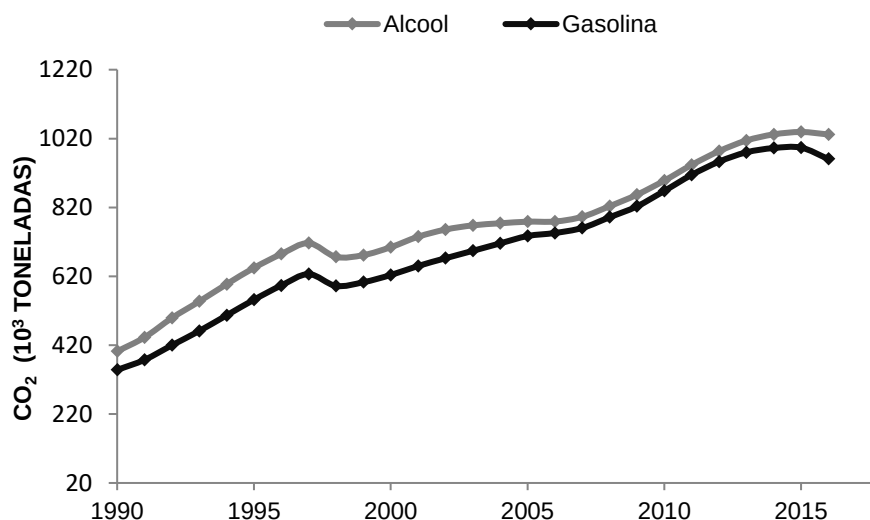
De 1990 a 2016 as emissões anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 157% onde em 2015 atinge o valor máximo de 1.039.038 toneladas e reduzindo para 1.031.942 toneladas em 2016. O valor total emitido do CO₂ desde 1990 até 2016, utilizando apenas álcool foi de 20.601.354 toneladas.

Admitindo que os automóveis utilizem apenas gasolina, o valor médio para todos os anos dos totais anuais (1990 a 2016), foi de 702.071,0 toneladas com DP de 191.791,5 toneladas e IC (95%) de 72.344,2 toneladas, atingindo valores extremos de dispersão 893.862,6 toneladas (Máximo) e 510.279,5 toneladas (Mínimo).

De 1990 a 2016 as emissões anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 176% onde em 2015 atinge seu valor anual máximo de 993.625 toneladas e sofrendo redução para 960.679 toneladas em 2016. De 1990 a 2016 o valor total emitido foi de 18.955.918 toneladas de CO₂.

A evolução das emissões totais do CO₂ para os automóveis, utilizando o álcool e apenas gasolina está representada no Gráfico 6.

Gráfico 6 – A evolução das emissões totais do Dióxido de Carbono para os automóveis, utilizando apenas o álcool e apenas a gasolina



Fonte: Autoria Própria.

Utilizando álcool, observa-se que a variação da emissão anual no intervalo analisado (1990 a 2016) é maior do que o intervalo de dispersão da média, representando um crescimento significativo para automóveis utilizando álcool.

Utilizam gasolina, observa-se que a dispersão em relação à média é menor que a variação do total anual no período considerado (1990 a 2016). O crescimento de CO₂ de 1990 a 2016 também é significativo para automóveis que utilizam gasolina.

O comportamento da evolução dos totais anuais para CO₂ utilizando apenas álcool ou gasolina é muito semelhante.

Uma redução do CO na combustão carreta num aumento de CO₂ devido à maior quantidade de átomos oxigênio interagindo com átomos de carbono. Observa-se que a emissão de CO₂ é um processo natural em uma queima ideal. Em uma queima real, uma redução na concentração de CO₂ pode representar uma evolução tecnológica na injeção de combustível, já que uma diminuição da quantidade de combustível na câmara de combustão reduz a emissão de CO₂ como também uma melhoria dos catalisadores utilizados nos veículos (MILHOR, 2002; HURTADO, 2013).

Observa-se que os valores anuais de CO₂ apresentaram aumento significativo de 1990 a 2016, independente de utilizar álcool ou gasolina. Apesar de ter ocorrido redução nas taxas de emissão por veículo, para veículos mais novos, disponibilizadas pela CETESB, houve crescimento significativo nas emissões anuais com o passar dos anos. De acordo com a CETESB (2018), os valores de emissão por veículo fornecido sofreram redução para veículos

mais novos por haver redução na quantidade de combustível utilizado pelo motor, tornando-o mais econômico e pela melhoria dos catalizadores utilizados nos veículos. Mas, mesmo apresentando essa redução de emissão de CO₂ por veículo, as emissões totais com o passar dos anos apresentou crescimento significativo. O crescimento da frota fez com que as emissões aumentassem. Novamente, o efeito do crescimento da frota superou o efeito do desenvolvimento tecnológico.

Em algumas situações, independentemente da evolução das emissões, o valor total de poluentes emitidos em certa região poderá comprometer a qualidade do ar. A evolução dessas emissões apenas agrava a situação. Observa-se que o aumento da frota veicular da cidade do Recife vem contribuindo com o aumento das emissões de CO e CO₂ para a atmosfera. Através dos dados da CETESB, observa-se que a cada ano que passa a redução da taxa por veículo novo é menor, tendendo a uma estabilidade. Esse resultado da CETESB mostrando a dificuldade cada vez maior de uma melhoria nos motores do ciclo de Otto.

4.4 MEDIDOR DE GASES ATMOSFÉRICO (MGA)

4.4.1 Dados da calibração para o MQ-9 utilizando CO

Os dados coletados da porta no momento da calibração foram utilizados para calcular a razão R_S/R_L . A Tabela 15 mostra os dados calculados de R_S/R_L para MQ-9 com os valores do medidor KR1000 Carbon Monoxide Meter.

Tabela 15 – Valores de R_S/R_L para MQ-9 com os valores do Medidor KR1000 Carbon Monoxide Meter (CO em ppm)

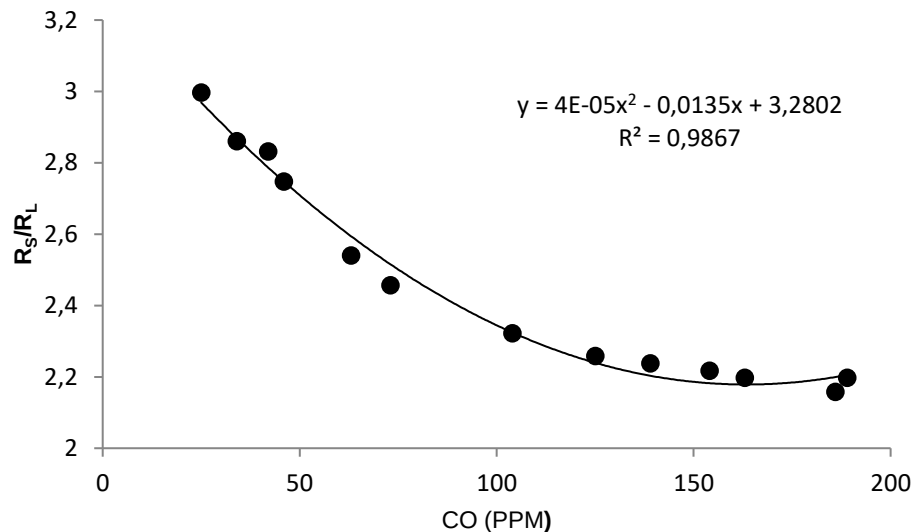
Medidor KR1000 Carbon Monoxide Meter (CO em ppm)	R_S/R_L
189	2,2
186	2,15740740
173	2,18981753
171	2,19470085
168	2,20213546
163	2,19687572
160	2,22262699
154	2,21698113
139	2,23734177
125	2,25796178
104	2,32142857
80	2,51374881
73	2,45608108
63	2,53979238
53	2,68667739
46	2,74725274
42	2,83146067
38	2,82641381
34	2,86037735

25	2,99609375
----	------------

Fonte: Autoria Própria.

O Gráfico 7 mostra a relação R_S/R_L em função da concentração em ppm do Medidor KR1000 CarbonMonoxide Meter.

Gráfico 7 – Relação R_S/R_L em função da concentração em ppm do Medidor KR1000



Fonte: Autoria Própria.

A equação polinomial determinada foi introduzida na programação do Arduino.

4.4.2 Dados da calibração para o MQ-135 utilizando o CO₂

Os dados coletados da porta no momento da calibração foram utilizados para calcular a razão R_S/R_L . A Tabela 16 mostra os dados calculados de R_S/R_L para MQ-135 com os valores do medidor KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade.

Tabela 16 – Valores de R_S/R_L para MQ-135 com os valores do Medidor KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade (CO₂ em ppm)

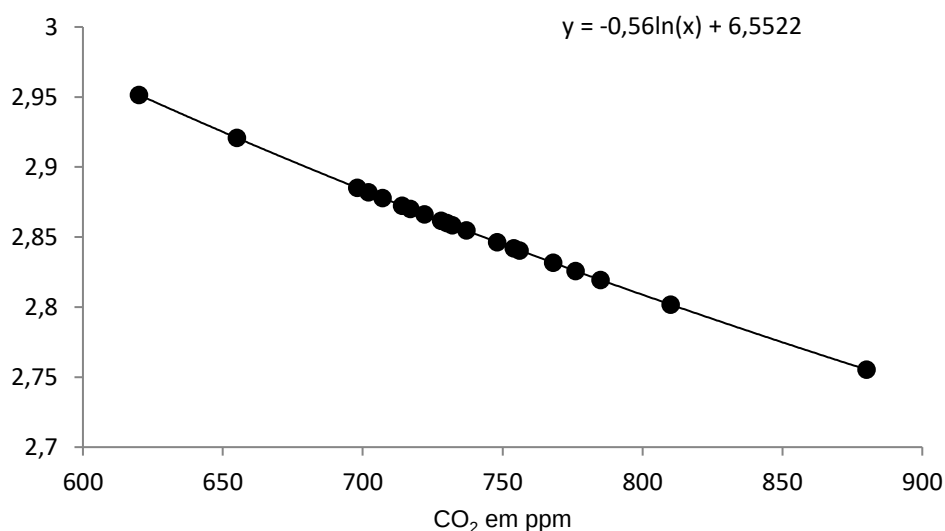
Medidor KR1000 CarbonMonoxide Meter (CO em ppm)	R_S/R_L
880	2,755443732
810	2,801860821
785	2,819417118
776	2,825874589
768	2,831677749
756	2,840496829
754	2,841980274
748	2,846454332
737	2,85475078

732	2,858562912
730	2,860095061
728	2,861631413
722	2,866265922
717	2,870157529
714	2,872505541
707	2,878022827
702	2,881997294
698	2,885197302
655	2,920804268
620	2,951557092

Fonte: Autoria Própria.

O Gráfico 8 mostra o gráfico da relação R_S/R_L em função da concentração em ppm do Medidor KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade.

Gráfico 8 – R_S/R_L para MQ-135 em função dos valores do Medidor KR1000



Fonte: Autoria Própria.

A equação polinomial determinada foi introduzida na programação do Arduino.

Para finalizar, os componentes do Medidor foram colocados em um envoltório de plástico para a sua proteção.

De acordo com o Datasheet do fabricante dos sensores, tanto o MQ-9 como o MQ-135 necessita de um período para atingir estabilidade nas medições. Esse período varia de 24h a 48h. É preciso deixar o medidor ligado, esperando a estabilidade dos sensores. Medidas efetuadas antes de atingir a estabilidade não representam valores confiáveis. Observou-se na prática, após a conclusão do medidor, que esse período para que se atinja a estabilidade, é muito variável, podendo ultrapassar as 48h fornecidas pelo fabricante.

4.5 MEDIDAS DO MONÓXIDO DE CARBONO E DIÓXIDO DE CARBONO NA ATMOSFERA

4.5.1 Temperatura (T) e Umidade Relativa do Ar (UR)

As medidas de temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas com o KR7755. Para as medidas realizadas no ponto 1, ponto 2 e ponto 3, os valores médios diários das temperaturas e umidade do ar para os períodos de janeiro e julho estão representados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores médios diários de Temperatura e Umidade do Ar

				Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Ponto 1	Janeiro	Manhã (7h às 8h)	UR (%)	77,5	79,1	73,7	79,9	79,9	80,1	81,1
			T (°C)	24,8	26,2	26,2	26,0	25,5	24,4	25,5
		Tarde (17h às 18h)	UR (%)	74,5	78,9	79,2	78,4	79,4	78,9	79,0
			T (°C)	28,5	27,7	28,7	28,2	27,5	27,0	28,7
	Julho	Manhã (7h às 8h)	UR (%)	80,9	82,2	80,1	80,2	80,95	83,3	83
			T (°C)	22,7	24	24,5	23,7	24,5	22,6	24,5
		Tarde (17h às 18h)	UR (%)	80,9	82,4	79,4	80,9	81,5	83,8	82,5
			T (°C)	26,6	27,5	27,2	27,0	26,5	26,6	26,8
Ponto 2	Janeiro	Manhã (7h às 8h)	UR (%)	79,8	79,3	79	77,9	77,9	81,2	77,7
			T (°C)	22,5	23,5	23,5	22,8	23,8	23,8	24,0
		Tarde (17h às 18h)	UR (%)	78,7	78,9	79,4	80,2	79,4	84,1	79,0
			T (°C)	26,4	27,0	27,8	27,5	26,8	27,3	27,4
	Julho	Manhã (7h às 8h)	UR (%)	80,0	80,6	80,8	79,8	79,6	84,35	82,2
			T (°C)	22,0	23,4	24,2	22,3	24,1	22,6	23,5
		Tarde (17h às 18h)	UR (%)	85,2	82,7	80,3	80,7	79,3	83,8	81,0
			T (°C)	26,8	26,9	27,1	26,6	26,3	26,0	26,0
Ponto 3	Janeiro	Manhã (7h às 8h)	UR (%)	78,7	80,6	78,7	77,9	78,7	84,6	78,7
			T (°C)	22,1	23,4	23,4	23,1	23,6	23,2	23,8
		Tarde (17h às 18h)	UR (%)	80,9	80,9	79,	80,4	79,7	81,1	81,1
			T (°C)	26,4	26,7	26,7	27,3	26,7	26,9	27,2
	Julho	Manhã (7h às 8h)	UR (%)	79,3	80,5	80,8	80,5	81,4	82,4	81,9
			T (°C)	21,7	23	23,6	23,0	23,7	22,6	23,3
		Tarde (17h às 18h)	UR (%)	81,7	81,2	80,8	80,5	82,2	82,4	82,1
			T (°C)	26	26	26,8	26,5	26,5	25,7	25,5

Fonte: Autoria Própria.

Para a Temperatura, no ponto 1, a média das médias diárias para janeiro foi de 25,5°C com DP 0,7°C no período da manhã e 28,0°C com DP 0,6°C no período da tarde. Para o mês de julho, a média das médias diárias foi de 23,8°C com DP 0,8°C no período da manhã e 26,9°C com DP de 0,3°C no período da tarde.

Para a Umidade Relativa do Ar, no ponto 1, a média das médias diárias para o mês de janeiro foi 78,8% com DP de 2,2% no período da manhã e 78,3% com DP de 1,7% no período da tarde. Para o mês de julho, a média das médias diárias foi de 81,5% com DP de 1,3% no período da manhã e 82,6% com DP de 1,4% no período da tarde.

Para a Temperatura, no ponto 2, a média das médias diárias em janeiro foi de 23,7°C com DP 0,5°C no período da manhã e 27,2°C com DP 0,4°C no período da tarde. Para o mês de julho, a média das médias diárias foi de 22,2°C com DP 0,8°C no período da manhã e 25,5°C com DP de 0,4°C no período da tarde.

Para a Umidade Relativa do Ar, no ponto 2, a média das médias diárias para o mês de janeiro foi 78,9% com DP de 1,2% no período da manhã e 79,9% com DP de 1,8% no período da tarde. Para o mês de julho, a média das médias diárias foi de 81,1% com DP de 1,6% no período da manhã e 82,0% com DP de 2,1% no período da tarde.

Para a Temperatura, no ponto 3, a média das médias diárias em janeiro foi de 24,2°C com DP 0,5°C no período da manhã e 26,8°C com DP 0,3°C no período da tarde. Para o mês de julho, a média das médias diárias foi de 22,0°C com DP 0,7°C no período da manhã e 26,1°C com DP de 0,3°C no período da tarde.

Para a Umidade Relativa do Ar, no ponto 3, a média das médias diárias para o mês de janeiro foi 79,7% com DP de 2,3% no período da manhã e 80,6% com DP de 0,6% no período da tarde. A média das médias diárias para o mês de julho 81,0% com DP de 1,0% e 81,6% com DP de 0,7% para o período da manhã e da tarde respectivamente.

Para a temperatura, utilizando o intervalo de dispersão, observa-se que, em todos os pontos de medição, comparando o período de janeiro com o de julho para o mesmo turno, as médias das temperaturas médias diárias apresentam variação significativa. Não existe interseção do intervalo de dispersão das médias de janeiro - manhã com julho – manhã como também não existe interseção entre janeiro –tarde com julho- tarde para todos os pontos analisados. Para o período de julho comparado com o período de janeiro no mesmo turno, as médias das temperaturas médias diárias apresentam valores mais baixos. Isso corrobora com o fato de o mês de janeiro ser mais “quente” do que o mês de julho, considerado período chuvoso (SOUZA, 2011; SOUZA, 2009; AZEVEDO, 2009). Comparando os valores de temperatura, para todos os pontos analisados, independente do mês de medição, as temperaturas pela manhã foram menores que as temperaturas no período da tarde.

Já a umidade relativa do ar, não se pode afirmar que houve variação significativa entre janeiro e julho por existir interseção da dispersão das médias dos valores médios diários. Essa interseção acontece quando comparamos pontos de coletas diferentes e turnos diferentes.

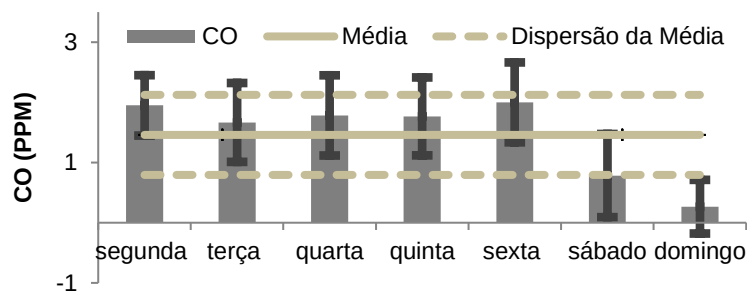
4.5.2 Medidas do Monóxido de Carbono

As médias de CO foram realizadas com o equipamento KR1000 CarbonMonoxide Meter.

I) *Ponto 1: Avenida Governador Agamenon Magalhães.*

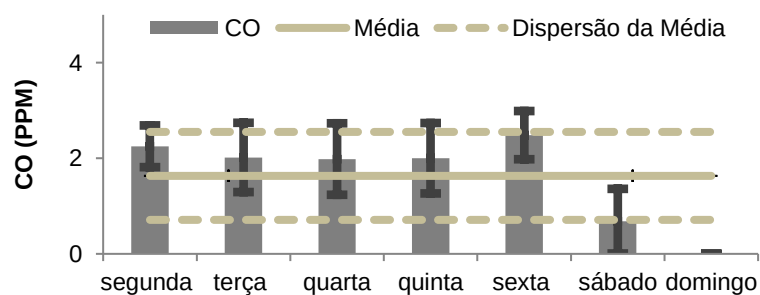
Os gráficos 9, 10, 11 e 12 apresentam a média das concentrações diárias de CO medidas nos períodos de janeiro e julho, pela manhã e à tarde, com os respectivos intervalos de dispersão. Os gráficos também apresentam as médias dos valores médios diários com respectivos intervalos de dispersão.

Gráfico 9 – Concentração de CO para o mês de janeiro pela manhã ponto 1



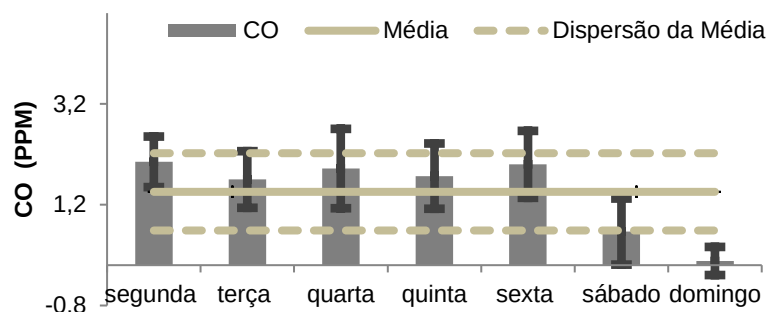
Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 10 – Concentração do CO para o mês Janeiro à tarde ponto 1



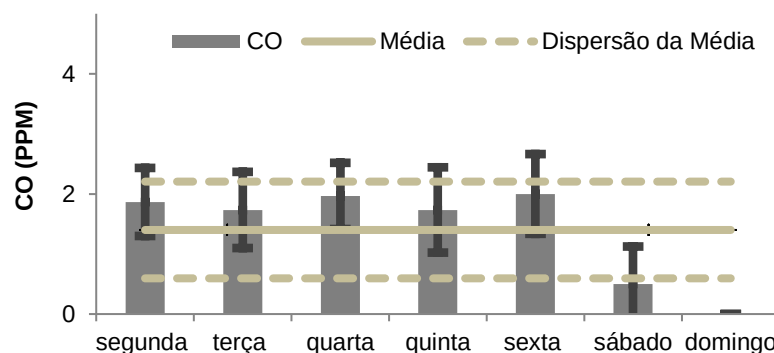
Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 11 – Concentração de CO para o mês de julho pela manhã ponto 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 12 – Concentração de CO para o mês de julho à tarde ponto 1



Fonte: Autoria Própria.

Para o período de janeiro pela manhã (Gráfico 9), a média dos valores médios diários foi de 1,50ppm e DP de 0,67 ppm. Observa-se que a média das concentrações diárias de segunda até sábado não apresentam mudança significativa por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. A concentração do domingo apresenta uma queda significativa, pois não existe interseção entre os intervalos de dispersão da média diária com os da média das médias. A média das concentrações diárias no domingo foi de 0,27 ppm com DP de 0,44 ppm, representando uma redução de 66% em relação à média diária de sábado.

Para o período de janeiro a tarde (Gráfico 10), a média dos valores médios diários foi de 1,60ppm e DP de 0,99 ppm. Como no período da manhã, observa-se que a média das concentrações diárias de segunda até sábado não apresentam mudança significativa por existir interseção dos intervalos de dispersão das médias diárias com os da média dos valores médios. De sábado para domingo, houve uma queda significativa na média das concentrações diárias, por não existir interseção entre os intervalos de dispersão. A média das concentrações diárias no domingo foi nula. Não houve detecção de CO durante as medições no domingo à tarde.

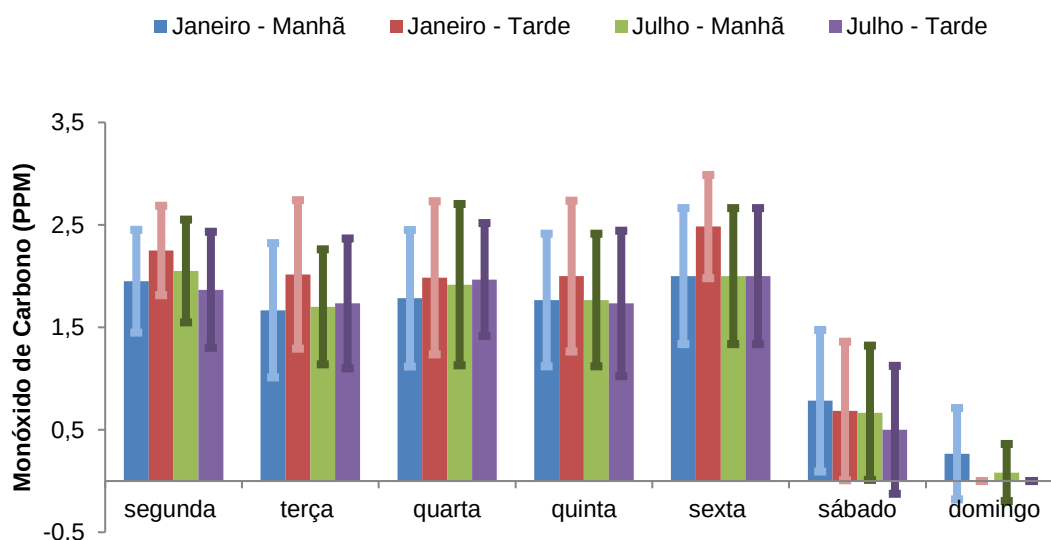
No período de julho manhã(Gráfico 11), a média dos valores médios diários foi de 1,45 ppm e DP de 0,77 ppm. De segunda a sábado, as médias das concentrações diárias de CO não apresentam variação significativa. Do sábado para o domingo, houve redução significativa pelo fato da dispersão da média das concentrações do domingo não apresentar interseção com a dispersão da média das concentrações médias. A média das concentrações diárias no domingo foi 0,08 ppm com DP de 0,28 ppm, representando uma dedução de 87% em relação à média diária do sábado.

Para o período de julho a tarde(Gráfico 12), média dos valores médios diários foi de 1,40 ppm e DP de 0,80 ppm. De segunda a sábado, as médias das concentrações diárias de CO não apresentou variação significativa. Do sábado para o domingo, houve redução significativa, pois não houve detecção de concentração de CO no domingo. A média das concentrações diárias foi nula.

Para o primeiro ponto de aferição (Ponto 1), observa –se uma semelhança nos resultados, independente do período de aferição e dos valores de temperatura e umidade. Em todos os períodos,manhã e tarde em janeiro ou julho as concentrações apresentaram flutuações desprezíveis de segunda a sábado. De sábado para domingo, os valores médios diários apresentaram queda significativa, chegando em alguns casos, a zero. Em relação às flutuações dos valores médios diários, observa-se que variações significativas possuem relação com a presença veicular. Nos finais de semana, o fluxo de veículos cai drasticamente. Domingo temos o menor fluxo veicular da cidade (ICPS, 2018).

O Gráfico 13 mostra as concentrações médias diárias para os períodos de janeiro pela manhã e à tarde, e julho pela manhã e à tarde para o ponto 1.

Gráfico 13 – Concentrações médias Diária de CO por período para ponto 1



Fonte: Autoria Própria.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada período, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos períodos de coleta, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 18 mostra os valores médios das médias diárias dos períodos de medição para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 18 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 1

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	2,1	1,2	1,9	1,8	2,1	0,6	0,1
DP	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Máximo	2,3	1,9	2,0	1,9	2,4	0,8	0,2
Mínimo	1,7	1,6	1,8	1,7	1,9	0,5	0

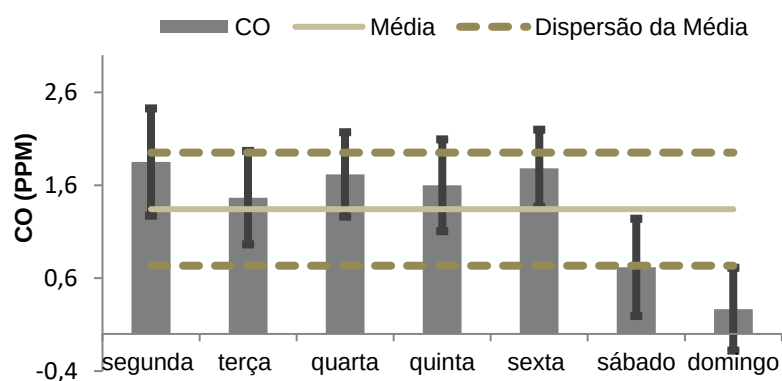
Fonte: Autoria Própria.

Para cada dia da semana, as medidas médias de CO, independente do período, turno, temperatura e umidade relativa, apresentam valores semelhantes, pois existe interseção da dispersão da média diária com a dispersão da média das médias dos períodos medidos. Pode-se dizer que em todos os períodos, as concentrações médias diárias apresentaram mesmo comportamento sofrendo redução significativa no domingo para todos os períodos. Isso corrobora com uma redução drástica veicular nesse dia.

II) Ponto 2: Br 232, km 7,5

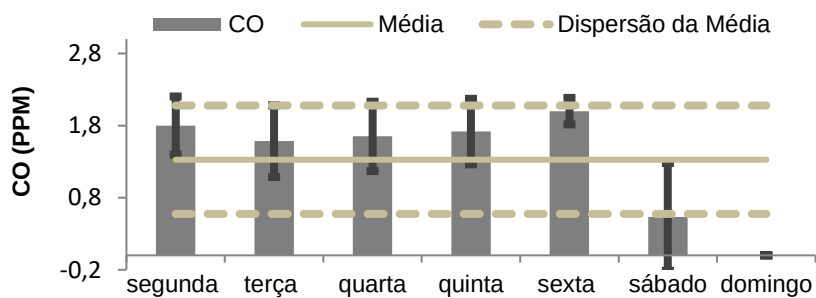
Os gráficos 14, 15, 16 e 17 apresentam a média das concentrações diárias de CO medidas nos períodos de janeiro e julho, pela manhã e à tarde, com os respectivos intervalos de dispersão. Os gráficos também apresentam as médias dos valores médios diários com respectivos intervalos de dispersão.

Gráfico 14 – Concentração de CO para o mês de janeiro pela Manhã ponto 2



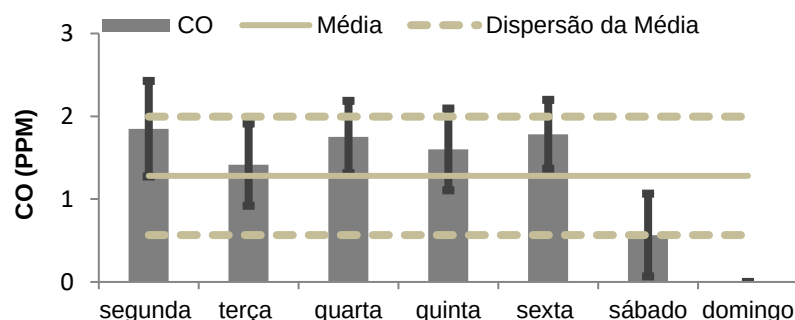
Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 15 – Concentração de CO para o mês de janeiro à tarde ponto 2



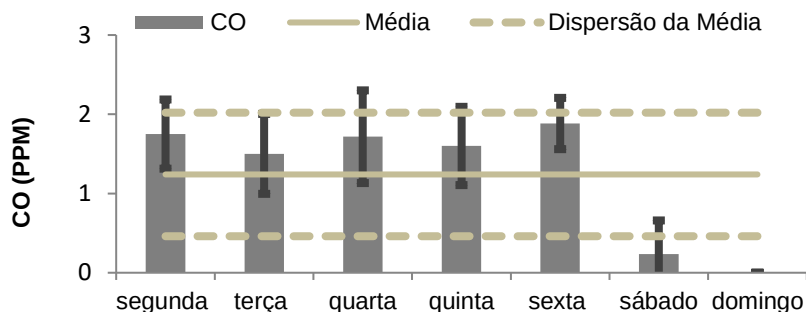
Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 16 – Concentração de CO para o mês de julho pela manhã ponto 2



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 17 – Concentração de CO para o mês de julho à tarde ponto 2



Fonte: Autoria Própria.

Para o período de janeiro pela manhã (Gráfico 14), a média dos valores médios diários foi de 1,34 ppm e DP de 0,60 ppm. Através do gráfico, conclui-se que a média das concentrações diárias de segunda até sábado não apresentam mudança significativa por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. Desta forma, apesar de uma flutuação dos valores médios diários, não podemos dizer que houve mudança significativa. A concentração do domingo apresenta uma queda significativa, pois não existe interseção entre os intervalos de dispersão da média diária com os da média das médias. A média das concentrações diárias no domingo foi de 0,27 ppm com DP de 0,44ppm, representando uma redução de 63% em relação à média diária de sábado.

Durante o janeiro no período da tarde, a média dos valores médios diários foi de 1,33 ppm e DP de 0,75ppm. Como no período da manhã, em janeiro, observa-se que a média das concentrações diárias de segunda até sábado não apresentam mudança significativa por existir interseção dos intervalos de dispersão das médias diárias com os da média dos valores médios. De sábado para domingo, houve uma queda significativa na média das concentrações diárias,

por não existir interseção entre os intervalos de dispersão. Neste caso, o intervalo de dispersão da média diária foi nulo. Isso quer dizer que a média das concentrações diárias no domingo foi nula. Não houve detecção de CO durante as medições no domingo à tarde.

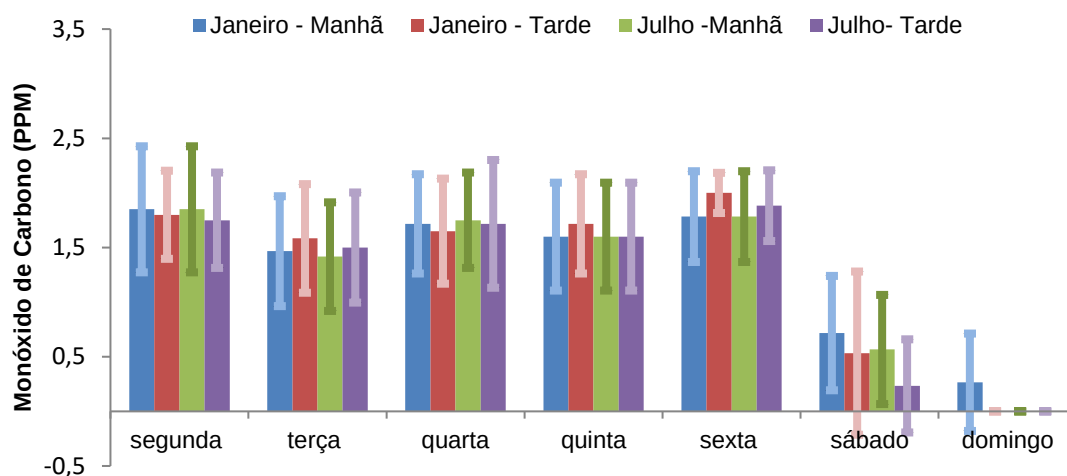
Durante julho no período da manhã, a média dos valores médios diários foi de 1,28 ppm e DP de 0,71 ppm. De segunda a sábado, as médias das concentrações diárias de CO não apresentam variação significativa devido à interseção dos intervalos de dispersão. Do sábado para o domingo, houve redução significativa pelo fato da dispersão da média das concentrações do domingo não apresentar interseção com a dispersão da média das concentrações médias. Novamente a média do domingo foi nula. Também não houve detecção de CO durante as medições no domingo pela manhã.

Durante julho no período da tarde, a média dos valores médios diários foi de 1,24 ppm e DP de 0,78 ppm. De segunda a sábado, a média das concentrações diárias de CO não apresentou variação significativa. Do sábado para o domingo, houve redução significativa, pois não houve detecção de concentração de CO no domingo. A média das concentrações diárias no domingo foi nula.

Para o segundo ponto de aferição (Ponto 2), observa-se semelhança nos resultados, independente do período de ser em janeiro- julho ou manhã – tarde, temperatura do local e umidade relativa. Em todos os períodos as concentrações apresentaram variações desprezíveis de segunda a sábado. De sábado para domingo, os valores médios diários apresentaram queda significativa, chegando em alguns casos, a zero. Em relação às flutuações dos valores médios diários, observa-se que variações significativas possuem relação com a presença veicular. Nos finais de semana, o fluxo de veículos também reduz drasticamente. Domingo temos o menor fluxo veicular (ICPS, 2018).

O Gráfico 18 mostra as concentrações médias diárias para os períodos de janeiro pela manhã e à tarde, e julho pela manhã e à tarde para o ponto 2.

Gráfico 18 – Concentrações médias diárias de CO por período para o ponto 2



Fonte: Autoria Própria.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada período, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos períodos de coleta, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 19 mostra os valores médios das médias diárias dos períodos de medição para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 19 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 2

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1,81	1,5	1,70	1,6	1,7	0,5	0,1
DP	0,04	0,1	0,04	0,1	0,1	0,2	0,1
Máximo	1,86	1,6	1,75	1,7	1,9	0,7	0,2
Mínimo	1,76	1,4	1,67	1,6	1,7	0,3	0

Fonte: Autoria Própria.

Para cada dia da semana, existe interseção da dispersão da média das concentrações diárias com a dispersão da média das médias diárias dos períodos de medição para cada dia. Pode-se dizer que em cada dia, para todos os períodos e turnos independente umidade relativa e temperatura ambiente, as concentrações médias diárias apresentaram mesmo comportamento sofrendo redução significativa no domingo para todos os períodos. Isso novamente corrobora com uma redução drástica veicular nesse dia.

III) Ponto 3: Parque da Jaqueira

As medidas de CO tanto durante o mês de janeiro como no mês de julho, para todos os turnos, apresentaram valores médios diários nulos. Não houve detecção de concentração de CO em nenhum momento durante as aferições. Como essa região não apresenta fluxo veicular observa-se uma relação de ausência de concentrações de CO para uma região onde não existe de fluxo veicular.

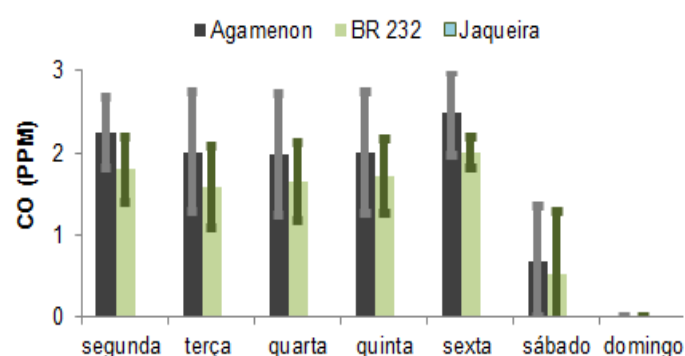
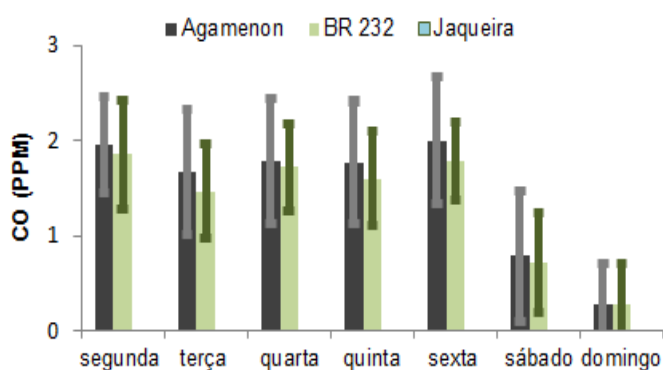
IV) Correlação entre os pontos 1 2 e 3.

O Figura 24 mostra as concentrações médias diárias de CO para os três pontos de medição para o período de janeiro, no turno da manhã (A), janeiro à tarde (B), julho manhã (C) e julho à tarde (D).

Figura 24 – Concentrações de CO dos pontos 1, 2 e 3 de acordo com o período

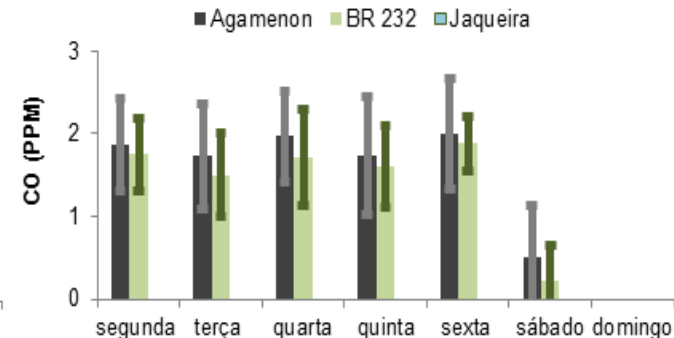
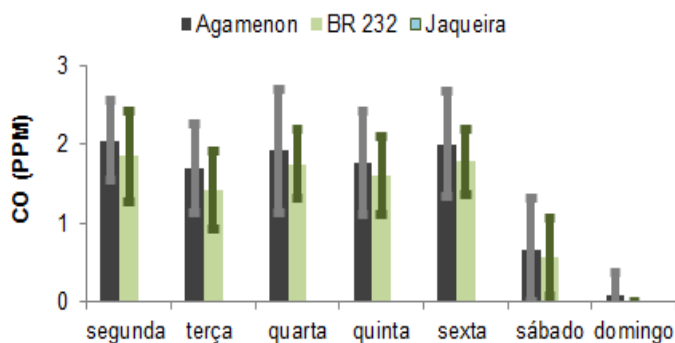
A: CO dos três pontos para o mês de janeiro manhã

B: CO dos três pontos para o mês de janeiro tarde



C: CO dos três pontos para o mês de julho manhã

D: CO dos três pontos para o mês de julho tarde



Fonte: Autoria Própria.

Para o período de janeiro, no turno da manhã (A), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1,50 ppm e DP de 0,67 ppm apresentando valores extremos de

dispersão 2,12 ppm (máximo) e 0,79 ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1,34 ppm e DP de 0,60 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1,95 ppm (máximo) e 0,73 ppm (mínimo). No ponto 3, a média dos valores médios diários foi nula e como consequência o DP também foi nulo. Analisando a média das médias diárias, não houve diferença significativa entre os pontos 1 e 2. O ponto 3 apresenta diferença significativa por apresentar valores médios diários nulos, como consequência, a média das médias diárias também nula.

Observando os valores médios diários absolutos para cada dia, as medidas entre o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232) apresentam diferença nas concentrações. Todos os valores absolutos do ponto 2 apresentaram valores menores. Mas apesar dos valores absolutos do ponto 1 serem superiores ao do ponto 2, não se pode afirmar uma diferença significativa devido aos intervalos de dispersão. Desta forma, as concentrações de CO no mesmo período de aferição para esses dois locais diferentes apresentam matematicamente valores semelhantes. O terceiro ponto de medição (jaqueira) apresenta valores que apresentam diferença significativa. As concentrações de CO nesse ponto 3 foram nulas.

Para o período de janeiro, no turno da tarde (B), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1,63 ppm e DP de 0,92 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2,55 ppm (máximo) e 0,71ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1,33ppm e DP de 0,75ppm apresentando valores extremos de dispersão 2,08 ppm (máximo) e 0,57ppm (mínimo). No ponto 3, a média dos valores médios diários foi nula consequentemente o DP também foi nulo.

Observa-se que os valores absolutos da média das médias diárias para o ponto 2 foram inferiores aos do ponto 1. Mas não se pode dizer que houve diferença significativa entre as concentrações devido ao intervalo de dispersão. O ponto 3 apresenta diferença significativa por apresentar valores médios diários nulos, como consequência, a média das médias diárias também nula.

Para o período de julho, no turno da manhã (C), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1,45 ppm e DP de 0,77 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2,22 ppm (máximo) e 0,69ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1,28ppm e DP de 0,71ppm apresentando valores extremos de dispersão 1,99 ppm (máximo) e 0,56ppm (mínimo). No ponto 3, a média dos valores médios diários foi nula. Consequentemente o DP também foi nulo. Também se observa que os valores absolutos da média das médias diárias, apresentaram valores inferiores para o ponto 2 em relação ao 1. Mas, devido à margem de erro, não se pode afirmar uma diferença significativa entre as

concentrações dos pontos 1 e 2. O ponto 3 apresenta diferença significativa por apresentar valores médios diários nulos, como consequência, a média das médias diárias também nula.

Para o período de julho, no turno da tarde (D), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1,40 ppm e DP de 0,81 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2,21 ppm (máximo) e 0,59 ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1,24 ppm e DP de 0,78 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2,02 ppm (máximo) e 0,46 ppm (mínimo). No ponto 3, a média de todos os valores médios diários foi nula. Consequentemente o DP também foi nulo. O valor absoluto da média das médias diárias apresentou valor inferior para o ponto 2 em relação ao ponto 1, para todos os dias. Quando inclui os intervalos de dispersão, não se pode dizer que houve diferença significativa entre as concentrações dos pontos 1 e 2. O ponto 3 apresenta diferença significativa por apresentar valores médios diários nulos, como consequência, a média das médias diárias também nula.

As concentrações de CO para o ponto 1, independente do período/turno de medição apresentaram valores superiores em relação aos pontos 2 e 3. Incluindo o intervalo de dispersão, as concentrações dos pontos 1 e 2 são semelhantes, e superiores ao ponto 3, que foi nulo. Observa-se indícios de que a vegetação possui influencia nas concentrações de CO, comparando os pontos 1 e 2, por apresentarem valores médios absolutos menores para o ponto 2. Mas essa influencia não está sendo detectada de forma significativa devido aos intervalos de dispersão. O ponto 3 não apresentou nenhuma presença de CO independente do período/turno de aferição. Apesar de existir uma via de grande fluxo veicular ao lado do parque da jaqueira, como as medições foram realizadas dentro do parque, a influencia dos veiculos transitando pela via não interferiu nas medições. Pode-se dizer que a vegetação está influenciando de forma significativa para o ponto 3.

Considerando que os pontos 1 e 2 estão entre os pontos de maiores concentrações veiculares, provavelmente na cidade do Recife-PE as concentrações de CO apresentam valores que não comprometem a qualidade do ar da cidade de acordo com os valores estabelecidos pelo CONAMA, apesar de níveis baixos de CO causarem problemas diversos à saúde (RIBEIRO; ASSUNÇÃO, 2002).

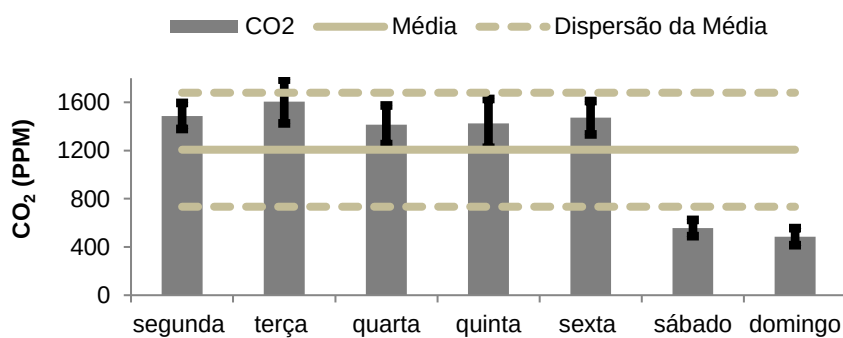
Analisando os resultados, observa-se que dois fatores influenciam a concentração de CO na baixa troposfera, presença veicular e áreas verdes. Aumentando a quantidade de veículos, cresce a concentração de CO, enquanto que, em locais com áreas verdes, a concentração de CO tende a diminuir.

4.5.3 Medidas do Dióxido de Carbono com o KR7755 Medidor de Dióxido de Carbono, Temperatura e Umidade

I) Ponto 1: Avenida Governador Agamenon Magalhães

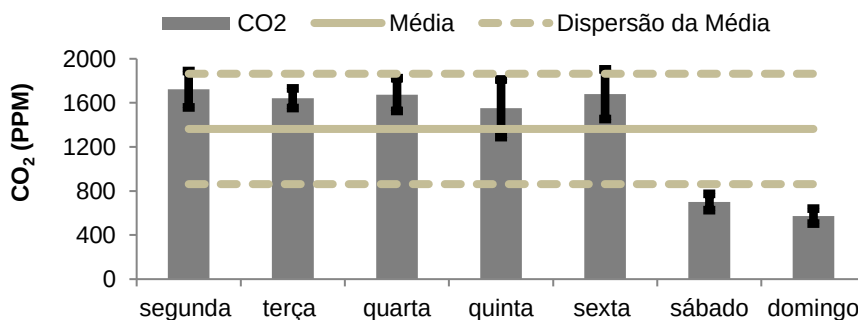
Os gráficos 19, 20, 21 e 22 apresentam a média das concentrações diárias de CO_2 medidas nos períodos de janeiro e julho, pela manhã e à tarde, com os respectivos intervalos de dispersão. Os gráficos também apresentam as médias dos valores médios diários com respectivos intervalos de dispersão.

Gráfico 19 – Concentração de CO_2 para o mês de janeiro pela manhã ponto 1

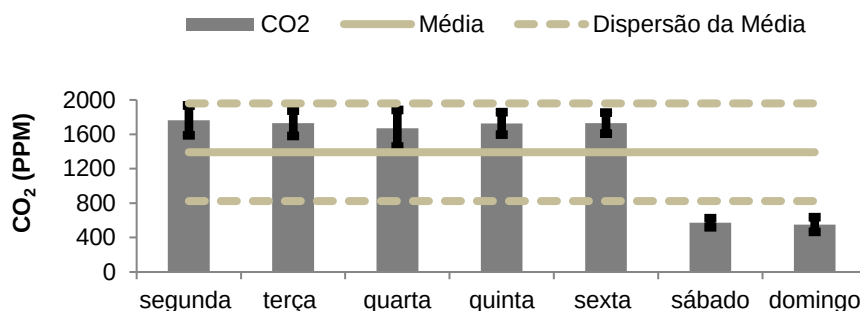
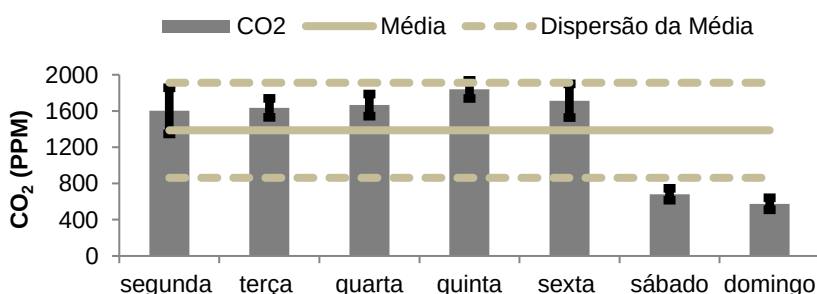


Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 20 – Concentração de CO_2 para o mês de janeiro tarde ponto 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 21 – Concentração de CO₂ para o mês de julho manhã ponto 1Gráfico 22 – Concentração de CO₂ para o mês de julho tarde ponto 1

Para o período de janeiro pela manhã, a média dos valores médios diários foi de 1.206,8 ppm e DP de 472,8ppm. Observa-se que a média das concentrações diárias de segunda até sexta não apresentam mudança significativa por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. As concentrações do sábado e do domingo apresenta uma queda significativa, pois não existe interseção entre os intervalos de dispersão da média diária com os da média das médias. A média das concentrações diárias no sábado foi de 557,1 ppmcom DP 67,5 ppm representando uma redução de 62% em relação à média diária da sexta. No domingo a média diária foi de 485,7ppm com DP de 70,7ppm.

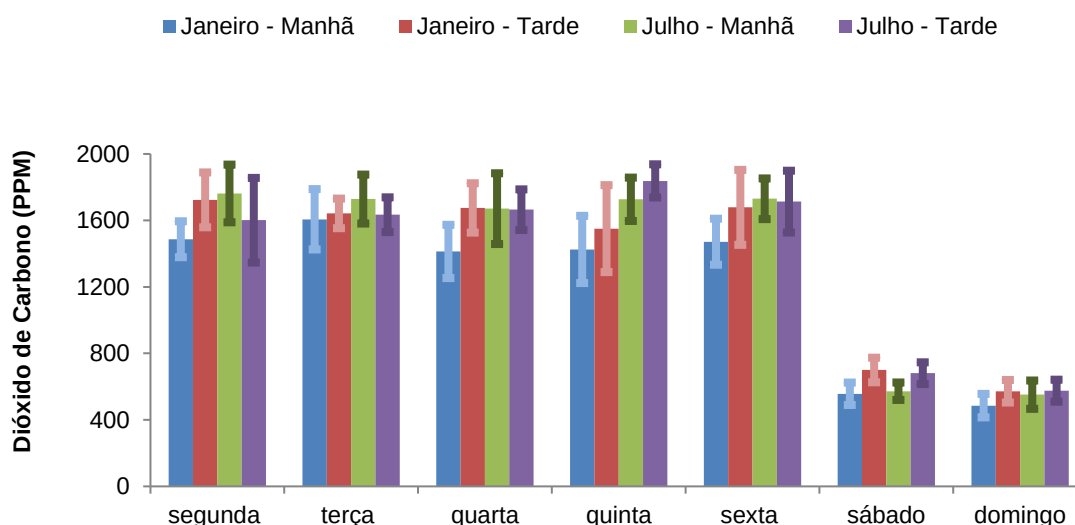
Para o período de janeiro à tarde, a média dos valores médios diários foi de 1.363,3 ppm e DP de 500,8 ppm. Como no período da manhã, observa-se que a média das concentrações diárias de segunda até sexta não apresentam mudança significativa por existir interseção dos intervalos de dispersão das médias diárias com os da média dos valores médios. De sexta à domingo, houve uma queda significativa na média das concentrações diárias, por não existir interseção entre os intervalos de dispersão. A média das concentrações diárias no sábado foi 700,3 ppmcom DP de 74,2 ppm representando uma redução de 58% em relação à média diária da sexta. A média diária nodomingo foi 572,4 ppm com DP 67,9ppm.

Para o período de julho pela manhã, a média dos valores médios diários foi de 1.391,9 ppm e DP de 567,5 ppm. De segunda a sexta, as médias das concentrações diárias de CO₂ não apresentam variação significativa. Do sábado para o domingo, houve redução significativa pelo fato da dispersão da média das concentrações do domingo não apresentar interseção com a dispersão da média das concentrações médias. A média das concentrações diárias no sábado foi 572,6 ppm com DP 52,6 ppm, representando uma redução de 67% em relação à média diária da sexta. No domingo a média diária foi 551,7 ppm com DP 85,3 ppm.

Para o período de janeiro à tarde, a média dos valores médios diários foi de 1.386,9 ppm e DP de 524,5 ppm. De segunda a sexta, as médias das concentrações diárias de CO₂ não apresentaram variação significativa. De sexta para o domingo, houve redução significativa, pois não houve interseção dos intervalos de dispersão. A média das concentrações diárias no sábado foi 681,1 ppm com DP 65,4 ppm, representando uma redução de 60% em relação à média diária da sexta. No domingo a média diária foi 575,7 ppm com DP 66,2 ppm.

Para o primeiro ponto de aferição (Ponto 1), observa-se uma semelhança nos resultados, independente do período de aferição com também dos valores de temperatura e umidade. Em todos os períodos, manhã e tarde em janeiro ou julho as concentrações apresentaram flutuações desprezíveis de segunda a sexta. De sexta para domingo, os valores médios diários apresentaram queda significativa. As concentrações não apresentam diferença significativa entre sábado e domingo por haver interseção dos intervalos de dispersão. Em relação às flutuações dos valores médios diários, observa-se que variações significativas entre os dias da semana com o fim de semana possuem relação com a presença veicular. Nos finais de semana, o fluxo de veículos cai drasticamente (ICPS, 2018).

O Gráfico 23 mostra as concentrações médias diárias para os períodos de janeiro pela manhã e à tarde, e julho pela manhã e à tarde para o ponto 1 de coleta.

Gráfico 23 – Concentrações Médias Diária de CO₂ por período para o ponto 1

Fonte: Autoria Própria.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada período, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos períodos de coleta, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 20 mostra os valores médios das médias diárias dos períodos de medição para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 20 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 1

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1643,5	1652,9	1606,1	1635,3	1648,5	627,8	546,4
DP	124,9	52,6	128,5	183,2	119,6	73,3	41,8
Máximo	1768,4	1705,6	1734,6	1818,5	1768,2	701,1	588,2
Mínimo	1518,6	1600,4	1477,6	1452,2	1528,9	554,4	504,6

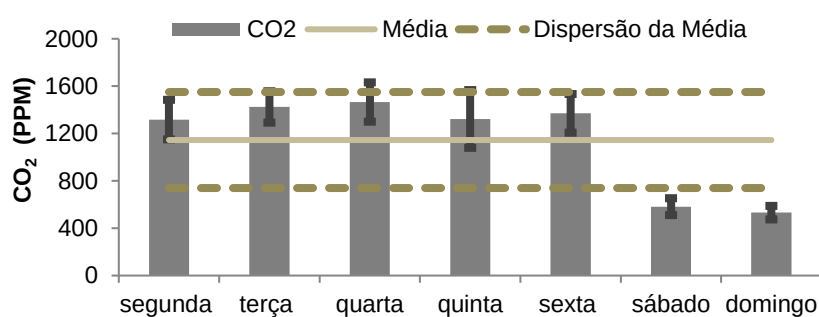
Fonte: Autoria Própria.

Para cada dia, as médias diárias de CO₂, de todos os períodos, independente da temperatura e umidade relativa, apresentam valores semelhantes, não havendo diferença significativa, pois existe interseção da dispersão de seus valores médios diários com a dispersão da média dos valores médios diários dos períodos. Para a quinta, apesar de existir uma diferença entre os valores médios diários de janeiro – manhã e julho – tarde, existe interseção dos intervalos de dispersão dessas médias diárias com o intervalo de dispersão da média das médias diárias dos períodos de medição. A redução observada no fim de semana para todos as médias diárias de todos os períodos corroboram com uma drástica redução veicular nesse período (ICPS, 2018).

II) Ponto 2: Br 232, Km 7,5

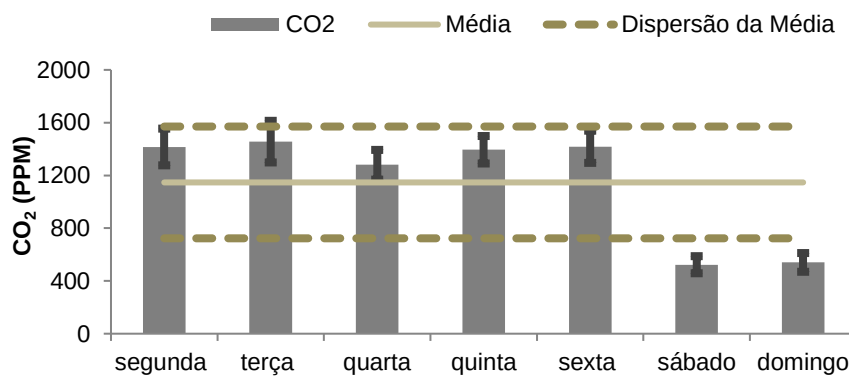
Os gráficos 24, 25, 26 e 27 apresentam a média das concentrações diárias de CO_2 medidas nos períodos de janeiro e julho, pela manhã e à tarde, com os respectivos intervalos de dispersão. Os gráficos também apresentam as médias dos valores médios diários com respectivos intervalos de dispersão para o ponto 2.

Gráfico 24 – Concentração de CO_2 para o mês de janeiro manhã ponto 2

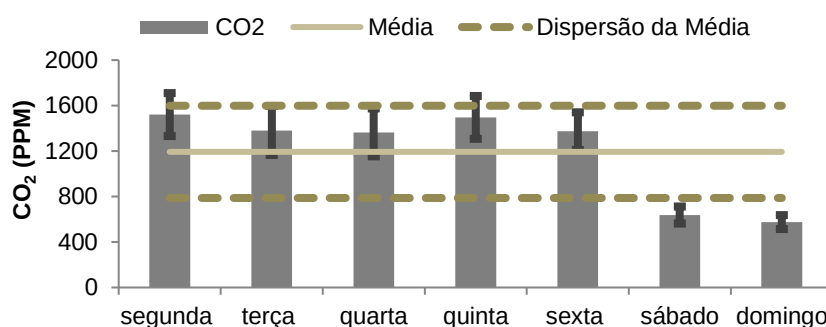


Fonte: Autoria Própria.

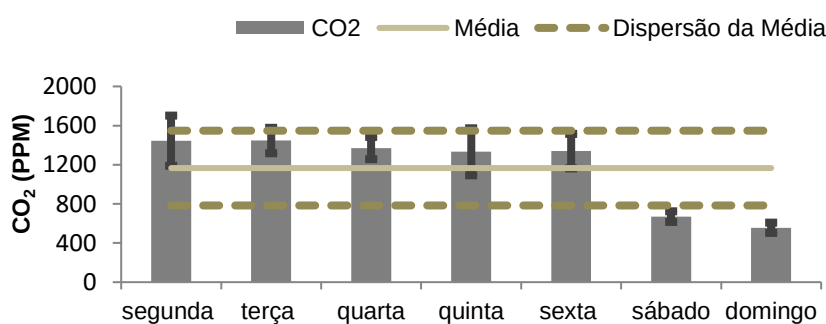
Gráfico 25 – Concentração de CO_2 para o mês de janeiro tarde ponto 2



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 26 – Concentração de CO₂ para o mês de julho manhã ponto 2

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 27 – Concentração de CO₂ para o mês de julho tarde ponto 2

Fonte: Autoria Própria.

Para o período de janeiro pela manhã, a média dos valores médios diários foi de 1.144,7 ppm e DP de 405,4ppm. Através do gráfico, conclui-se que a média das concentrações diárias de segunda até sexta não apresentam mudança significativa por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. Desta forma, apesar de uma flutuação dos valores médios diários, não podemos dizer que houve mudança significativa. As concentrações do sábado e do domingo apresentam queda significativa, pois não existe interseção entre os intervalos de dispersão das médias diárias com os da média das médias. A média das concentrações diárias no sábado foi de 582,1ppm com DP de 71,4 ppm representando uma redução de 57% em relação à média diária da sexta. Domingo apresentou média diária de 531,2ppm com DP 57,4ppm.

Para o período de janeiro a tarde, a média dos valores médios diários foi de 1.146,8 ppm e DP de 423,7ppm. Como no período da manhã, em janeiro, observa-se que a média das concentrações diárias de segunda até sexta não apresentam mudança significativa por existir interseção dos intervalos de dispersão das médias diárias com os da média dos valores médios. A partir de sexta, houve uma queda significativa na média das concentrações diárias, por não

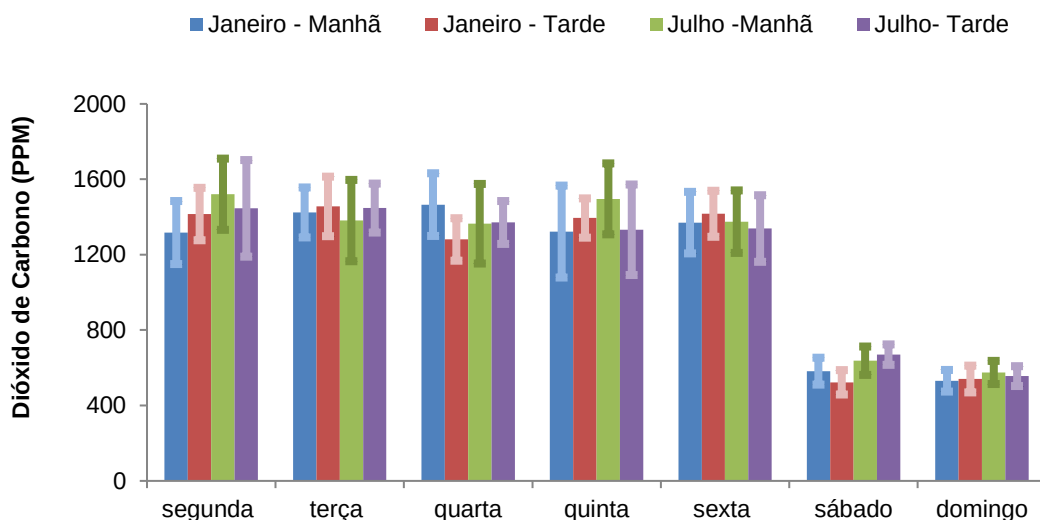
existir interseção entre os intervalos de dispersão. A média das concentrações diárias no sábado foi de 522,8 ppm com DP 64,7 ppm representando uma redução de 63% em relação à média diária da sexta. Domingo apresentou média diária de 540,4 ppm com DP 71,0 ppm.

Para o período de julho pela manhã, a média dos valores médios diários foi de 1.192,9 ppm e DP de 405,7 ppm. De segunda a sexta, as médias das concentrações diárias de CO₂ não apresentam variação significativa devido a interseção dos intervalos de dispersão. No fim de semana, houve redução significativa pelo fato da dispersão das médias diárias do sábado e do domingo não apresentarem interseção com a dispersão da média das concentrações médias. A média das concentrações diárias no sábado foi de 637,5 ppm com DP 75,2 ppm representando uma redução de 54% em relação à média diária da sexta. Domingo apresentou média diária de 575,3 ppm com DP 61,4 ppm.

Para o período de julho à tarde, a média dos valores médios diários foi de 1.165,8 ppm e DP de 381,9 ppm. De segunda a sexta, a média das concentrações diárias de CO₂ não apresentou variação significativa. Sábado e domingo apresentaram redução significativa devido ao intervalo de dispersão. A média das concentrações diárias no sábado foi de 669,8 ppm com DP 54,3 ppm. Isso representa uma redução de 50% em relação à média diária da sexta. No domingo média diária foi 555,8 ppm com DP 52,7 ppm.

Para o segundo ponto de aferição (Ponto 2), observa-se semelhança nos resultados, independente do período de ser em janeiro- julho ou manhã – tarde, temperatura do local e umidade relativa. Em todos os períodos as concentrações apresentaram variações desprezíveis de segunda a sexta. Sábado e domingo, os valores médios diários apresentaram queda significativa. As flutuações dos valores médios diários, dos dias da semana para os finais de semana possuem relação com a presença veicular. Nos finais de semana, o fluxo de veículos reduz drasticamente (ICPS, 2018).

O Gráfico 28 mostra as concentrações médias diárias para os períodos de janeiro pela manhã e à tarde, e julho pela manhã e à tarde para o ponto 2.

Gráfico 28 – Concentrações médias Diária de CO₂ por período para o ponto 2

Fonte: Autoria Própria.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada período, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos períodos de coleta, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 21 mostra os valores médios das médias diárias dos períodos de medição para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 21 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 2

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1424,9	1427,1	1370,4	1386,4	1375,2	603,1	550,7
DP	84,2	33,6	75,6	79,8	32,2	64,5	19,3
Máximo	1509,1	1460,7	1446,0	1466,2	1407,4	667,7	569,9
Mínimo	1340,7	1393,5	1294,8	1306,6	1343,1	538,5	531,4

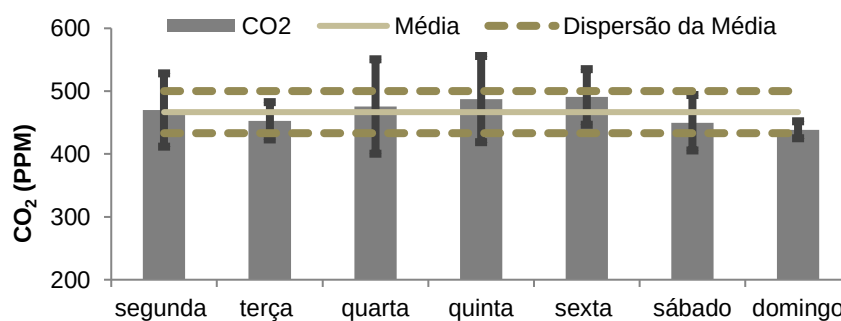
Fonte: Autoria Própria.

Para cada dia da semana, como existe interseção da dispersão da média das concentrações diárias de CO₂, para todos os períodos, com a dispersão da média dos valores médios diários dos períodos, independente da umidade relativa e temperatura, pode-se afirmar que esses valores são semelhantes. Pode-se dizer que em todos os períodos, as concentrações médias diárias apresentaram mesmo comportamento sofrendo redução significativa no fim de semana. Isso novamente corrobora com uma redução drástica veicular nesse dia.

III) Ponto 3: Parque da Jaqueira.

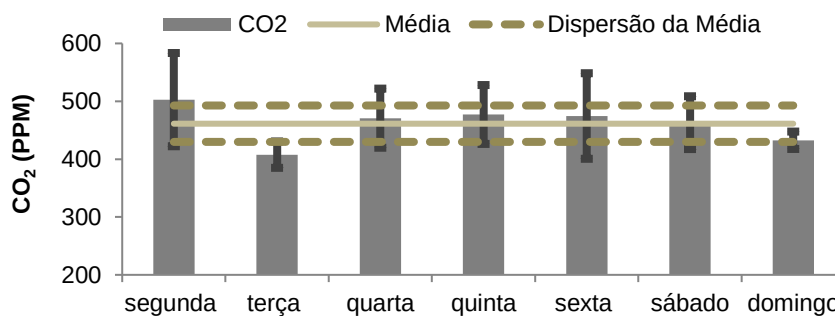
Os gráficos 29, 30, 31 e 32 apresentam a média das concentrações diárias de CO_2 medidas nos períodos de janeiro e julho, pela manhã e à tarde, com os respectivos intervalos de dispersão. Os gráficos também apresentam as médias dos valores médios diários com respectivos intervalos de dispersão para o ponto 3.

Gráfico 29 – Concentração de CO_2 para o mês de janeiro manhã ponto 3



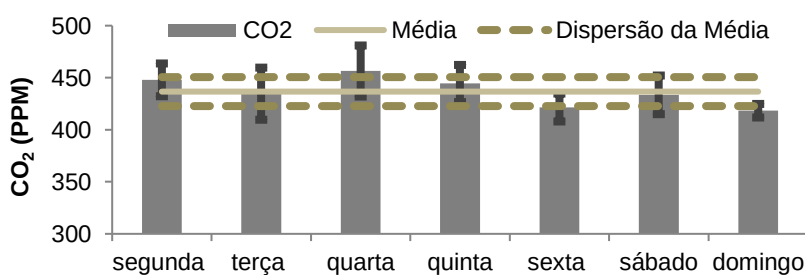
Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 30 – Concentração de CO_2 para o mês de janeiro tarde ponto 3

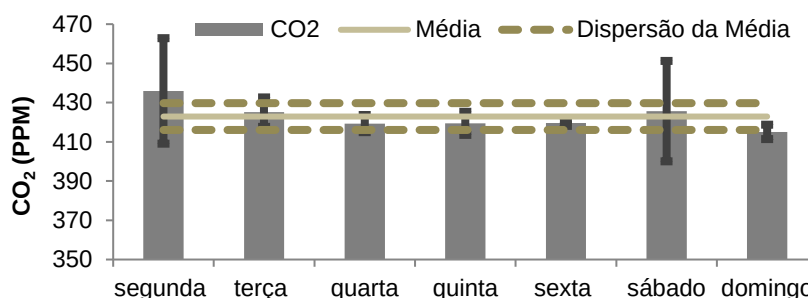


Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 31 – Concentração de CO_2 para o mês de julho manhã ponto 3



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 32 – Concentração de CO₂ para o mês de julho tarde ponto 3

Fonte: Autoria Própria.

Para o período de janeiro pela manhã, a média dos valores médios diários foi de 466,4 ppm e DP de 19,8ppm. Observa-se que as médias das concentrações diárias de segunda a domingo não apresentam mudança significativa por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. Pode-se dizer que não houve variação nas médias para cada dia.

Para o período de janeiro à tarde, a média dos valores médios diários foi de 461,3 ppm e DP de 31,4ppm. Observa-se que as médias das concentrações diárias para todos os dias apresentaram valores semelhantes por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. Pode-se dizer que não houve variação nas médias diárias durante a semana.

Para o período de julho pela manhã, a média dos valores médios diários foi de 436,7 ppm e DP de 13,9 ppm. Observa-se novamente que as médias das concentrações diárias para todos os dias apresentaram valores semelhantes por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. Pode-se dizer que não houve variação nas médias diárias durante a semana.

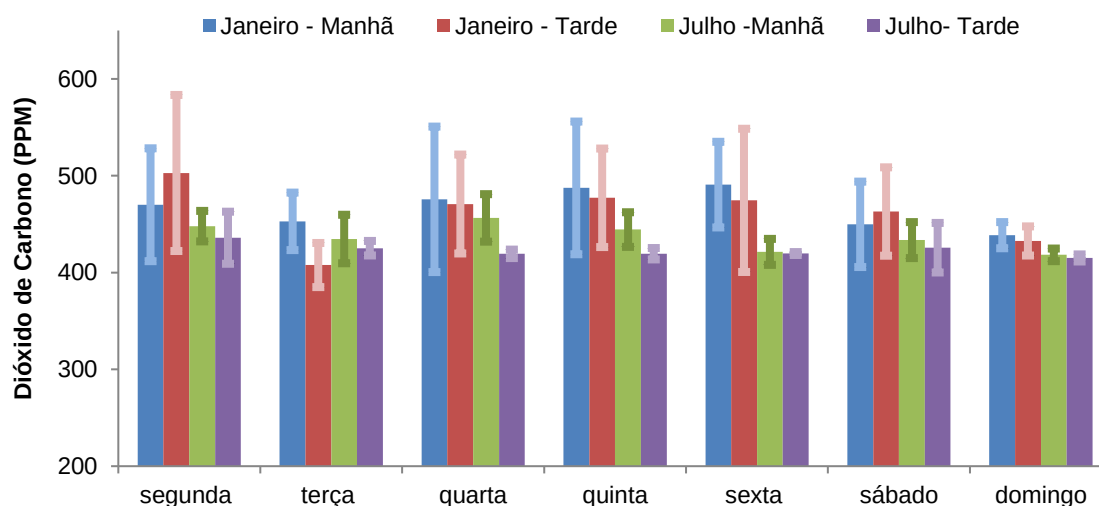
Para o período de julho à tarde, a média dos valores médios diários foi de 422,8 ppm e DP de 6,8 ppm. Como aconteceu para todos os outros períodos, as médias das concentrações diárias para todos os dias apresentaram valores semelhantes por existir interseção do intervalo de dispersão dos valores médios diários com o intervalo de dispersão da média dos valores médios. Pode-se dizer que não houve variação nas médias diárias durante a semana.

Para o terceiro ponto de aferição (Ponto 3), novamente observa-se grande semelhança nos resultados, independente do período de ser em janeiro- julho ou manhã – tarde, temperatura do local e umidade relativa. Em todos os períodos as concentrações apresentaram variações

desprezíveis para todos os dias da semana. No ponto 3, não existe a influência veicular. Novamente podem-se associar os valores médios diários à presença veicular.

O Gráfico 33 mostra as concentrações médias diárias para os períodos de janeiro pela manhã e à tarde, e julho pela manhã e à tarde para o ponto 3.

Gráfico 33 – Concentrações médias Diária de CO₂ por período para o ponto 3



Fonte: Autoria Própria.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada período, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos períodos de coleta, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 22 mostra os valores médios das médias diárias dos períodos de medição para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 22 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o ponto 3

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	464,2	430,1	455,5	457,1	451,6	443,0	426,1
DP	29,4	18,8	25,5	31,1	36,5	16,7	11,3
Máximo	493,6	448,9	481,0	488,2	488,1	459,7	437,4
Mínimo	434,8	411,3	430,0	426,0	415,0	426,3	414,9

Fonte: Autoria Própria.

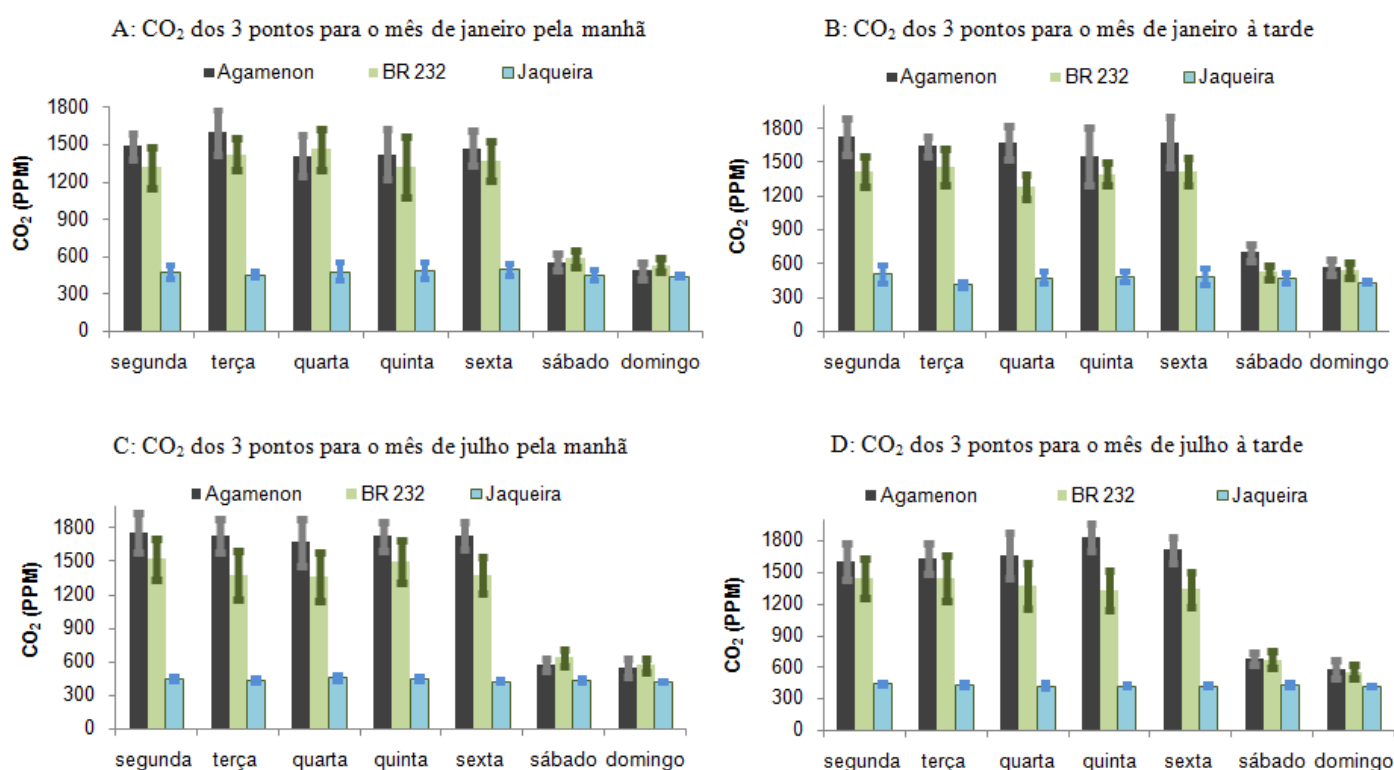
Para cada dia da semana, existe interseção da dispersão da média das concentrações diárias de CO₂, para todos os períodos, com a dispersão da média dos valores médios diários dos períodos, independente da umidade relativa e temperatura. Pode-se afirmar que esses valores são semelhantes. Para todos os períodos, as concentrações médias diárias apresentaram

mesmo comportamento sofrendo redução significativa no fim de semana. Isso novamente corrobora com uma redução drástica veicular nos fins de semana.

IV) Correlação entre os Pontos 1 2 e 3

O Figura 25 mostra as concentrações médias diárias de CO₂ para os três pontos de medição, para o período de janeiro, no turno da manhã (A), janeiro à tarde (B), julho manhã (C) e julho à tarde (D).

Figura 25 – Concentrações de CO₂ dos pontos 1, 2 e 3 de acordo com o período



Fonte: Autoria Própria.

Para o período de janeiro manhã (A), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1.206,8 ppm com DP de 472,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.679,6 ppm (máximo) e 733,9ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1.144,7 ppm e DP de 405,4ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.550,2 ppm (máximo) e 739,3ppm (mínimo). No ponto 3, a média dos valores médios diários foi de 466,4 ppm com DP de 19,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 486,3 ppm (máximo) e 446,6 ppm (mínimo).

Observando os valores médios diários absolutos para cada dia, as medidas entre o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232) apresentam diferença nas concentrações. A maioria dos valores absolutos do ponto 2 foram menores do que os do ponto 1. Os valores médios absolutos do ponto 3 são menores do que os valores dos pontos 1 e 2.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada ponto, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos pontos de coleta, para cada dia, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 23 mostra os valores médios das médias diárias dos pontos de coleta para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 23 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de janeiro pela manhã
(A)

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1091,4	1161,3	1118,2	1078,5	1110,9	529,7	485,2
DP	544,8	620,2	557,1	514,5	539,5	70,3	46,3
Máximo	1636,2	1781,5	1675,4	1593,0	1650,5	599,9	531,5
Mínimo	546,6	541,0	561,1	564,0	571,5	459,4	438,7

Fonte: Autoria Própria.

Estatisticamente, observa-se que os valores médios diários para cada dia, entre o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232) apresentam comportamento semelhantes por existir interseção de seus intervalos de dispersão com o intervalo de dispersão da média das médias diárias daquele dia. Apesar da maioria dos valores absolutos do ponto 1 serem superiores ao do ponto 2, não se pode afirmar uma diferença significativa devido aos intervalos de dispersão.

Desta forma, as concentrações de CO₂ no mesmo período de aferição e no mesmo dia, para esses dois locais diferentes, apresentam valores semelhantes.

Mas os valores absolutos sendo maiores para o ponto 1 quando comparados com o ponto 2, indicam uma influência da vegetação na redução das concentrações.

De segunda a sexta, o ponto 3 (jaqueira) apresenta valores abaixo quando comparados com os pontos 1 e 2. Não existe interseção do intervalo de dispersão das médias diárias com o intervalo de dispersão da média das médias diárias de cada dia. Pode-se afirmar que existe uma diferença significativa. Para o sábado e domingo, os valores médios absolutos do ponto 3 são inferiores aos dos pontos 1 e 2. Mas não existe diferença significativa entre os três pontos de coleta considerando o intervalo de dispersão. Os valores médios absolutos do ponto 3 foram sempre inferiores aos valores dos pontos 1 e 2. Os valores se apresentaram semelhantes durante toda a semana mesmo existindo uma via de grande fluxo veicular ao lado do parque da jaqueira. Novamente a influência dos veículos transitando pela via não interferiu nas medições. Pode-se

dizer que a vegetação está influenciando de forma significativa para o ponto 3. As concentrações diárias dos pontos 1 e 2 sofrem redução significativa da sexta para o sábado passado a existir interseção entre todas as dispersões das médias diárias com a dispersão da média das médias diárias para cada dia.

Para o período de janeiro, no turno da tarde (B), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1.363,3 ppm e DP de 500,8ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.864,1 ppm (máximo) e 862,5ppm (mínimo).

No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1.146,8ppm e DP de 423,7ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.570,5 ppm (máximo) e 723,0ppm (mínimo).

No ponto 3, a média dos valores médios diários foi 461,3 ppm com DP de 31,4 ppm com valores extremos de 492,7 ppm (máximo) e 429,8 ppm (mínimo).

Observando os valores médios diários absolutos para cada dia, as medidas entre o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232) apresentam diferença. Todos os valores absolutos do ponto 2 foram menores do que os do ponto 1.

O ponto 3 apresentou diferença em seus valores médios absolutos, quando comparado com os pontos 1 e 2.

Para afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada ponto, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos pontos de coleta, para cada dia, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 24 mostra os valores médios das médias diárias dos pontos de coleta para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 24 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de janeiro à tarde

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1214,0	1168,7	1142,3	1140,8	1190,1	562,1	515,1
DP	634,9	665,5	614,1	580,0	633,3	123,4	73,2
Máximo	1848,9	1834,2	1756,4	1720,8	1823,4	685,4	588,4
Mínimo	579,2	503,2	528,2	560,8	556,8	438,7	441,9

Fonte: Autoria Própria.

Os valores médios diários para o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232), para um mesmo dia, apresentam comportamento semelhantes por existir interseção de seus intervalos de dispersão com o intervalo de dispersão da média das médias diárias para aquele dia. Mas os valores absolutos sendo maiores para o ponto 1 quando comparados com o ponto 2, indicam uma influência da vegetação na redução das concentrações.

De segunda a sexta, o ponto 3 (jaqueira) apresenta valores médios absolutos abaixo quando comparados com os pontos 1 e 2. Não existe interseção do intervalo de dispersão das médias diárias com o intervalo de dispersão da média das médias diárias de cada dia. Pode-se afirmar uma diferença significativa com o ponto 3.

No fim de semana todos os valores médios absolutos do ponto 3 também foram menores que os dos pontos 1 e 2. Mas não existe diferença significativa entre os três pontos de coleta devido à interseção do intervalo de dispersão. Desta forma, as concentrações diárias dos pontos 1 e 2 sofrem redução significativa da sexta para o sábado passado a existir interseção entre todas as dispersões das médias diárias dos três pontos com a dispersão da média das médias diárias para cada dia do fim de semana.

A presença da vegetação no ponto 3 fez com que os valores se apresentassem semelhantes durante toda a semana mesmo existindo próximo uma via de grande fluxo veicular de segunda a sexta. Novamente, a influência dos veículos transitando pela via não interferiu nas medições no ponto 3. Pode-se dizer que a vegetação está influenciando de forma significativa para o ponto 3.

Para o período de julho, no turno da manhã (C), no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1391,9 ppm e DP de 567,5ppm apresentando valores extremos de dispersão 1959,4 ppm (máximo) e 824,4ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1192,9ppm e DP de 405,7ppm apresentando valores extremos de dispersão 1598,5 ppm (máximo) e 787,2ppm (mínimo). No ponto 3, a média dos valores médios diários foi 436,6 ppm com DP de 13,9 ppm com valores extremos de 450,6 ppm (máximo) e 422,7 ppm (mínimo).

Observa-se que os valores absolutos da média das médias diárias para quase todos os dias (segunda à sexta) foram maiores para o ponto 1 comparando com o ponto 2. O ponto 3, em comparação com os pontos 1 e 2, apresentou valores médios absolutos menores para todos os dias.

Para novamente afirmar se houve ou não variação significativa dos valores médios diários de cada ponto, para cada dia da semana foi calculado a média dos valores médios diários dos pontos de coleta, para cada dia, com seu respectivo intervalo de dispersão.

A Tabela 25 mostra os valores médios das médias diárias dos pontos de coleta para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 25 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de julho pela manhã

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1243,7	1181,4	1163,9	1222,6	1175,6	547,9	515,1
DP	699,6	669,7	631,5	683,8	676,9	104,2	84,7
Máximo	1943,3	1851,1	1795,4	1906,3	1852,5	652,1	599,8
Mínimo	544,0	511,8	532,3	538,8	498,7	443,7	430,4

Fonte: Autoria Própria.

Para o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232), os valores médios diários, para um mesmo dia, apresentam comportamento semelhantes por existir interseção de seus intervalos de dispersão com o intervalo de dispersão da média das médias diárias para aquele dia. Desta forma, as concentrações de CO₂ para esses dois locais diferentes apresentam valores semelhantes para todos os dias.

De segunda a sexta, o ponto 3 (jaqueira) apresenta valores abaixo quando comparados com os pontos 1 e 2. Não existe interseção do intervalo de dispersão das médias diárias com o intervalo de dispersão da média das médias diárias de cada dia. Mas o fim de semana, matematicamente não existe diferença significativa entre os três pontos de coleta. As concentrações diárias dos pontos 1 e 2 sofrem redução significativa da sexta para o sábado passado a existir interseção entre todas as dispersões das médias diárias dos três pontos com a dispersão da média das médias diárias para cada dia do fim de semana.

Apesar de matematicamente não existir diferença entre os pontos 1 e 2, os valores médios absolutos foram menores para o ponto 2, em todos os dias de aferição. Isso é um indício de que a presença de vegetação no ponto 2 influencia na redução das concentrações de CO₂. O ponto 3 apresentou valores médios semelhantes para todos os dias devido ao intervalo de dispersão. A existênciada avenida próximo ao parque, que possui grande movimento veicular de segunda a sexta, não foi capaz de influenciar as concentrações aferidas. Pode-se afirmar que a vegetação influencia na redução das concentrações.

Para o período de julho, no turno da tarde, no ponto 1 de coleta, a média dos valores médios diários foi de 1386,9 ppm e DP de 524,5ppm apresentando valores extremos de dispersão 1911,4 ppm (máximo) e 862,4ppm (mínimo). No ponto 2, a média dos valores médios diários foi de 1165,8ppm e DP de 382ppm apresentando valores extremos de dispersão 1547,8 ppm (máximo) e 783,8ppm (mínimo).No ponto 3, a média dos valores médios diários foi de 422,9 ppm e DP de 6,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 429,7 ppm (máximo) e 416,1 ppm (mínimo).

Comparando os pontos 1 e 2, observa-se que os valores absolutos da média das médias foram menores para o ponto 2 independente do dia. O ponto 3 apresenta valores absolutos da média das médias menores para todos os dias quando comparado com os pontos 1 e 2.

Novamente foi calculada a média dos valores médios diários dos pontos de coleta, para cada dia, com seu respectivo intervalo de dispersão. A Tabela 26 mostra os valores médios das médias diárias dos pontos de coleta para cada dia, acompanhando os respectivos intervalos de dispersão, valores máximos e mínimos.

Tabela 26 – Média, Desvio Padrão, Máximos e Mínimos em PPM para o mês de julho à tarde

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
Média	1161,0	1168,9	1151,7	1196,5	1157,2	592,2	515,6
DP	632,7	650,9	651,0	718,9	665,6	144,3	87,6
Máximo	1793,7	1819,8	1802,7	1915,5	1822,9	736,5	603,1
Mínimo	528,3	518,0	500,6	477,6	491,6	447,9	428,0

Fonte: Autoria Própria.

Para o ponto 1 (Agamenon) e o ponto 2 (BR 232), todos os valores médios diários, para um mesmo dia, apresentam comportamento semelhantes por existir interseção de seus intervalos de dispersão com o intervalo de dispersão da média das médias diárias para aquele dia. Sendo assim, as concentrações de CO₂ para esses dois locais diferentes apresentam valores semelhantes para todos os dias.

De segunda a sexta, o ponto 3 (jaqueira) apresenta valores abaixo quando comparados com os pontos 1 e 2. Não existe interseção do intervalo de dispersão das médias diárias com o intervalo de dispersão da média das médias diárias de cada dia. Estatisticamente, o fim de semana não existe diferença significativa entre os três pontos de coleta. As concentrações diárias dos pontos 1 e 2 sofrem redução significativa da sexta para o sábado passado a existir no fim de semana, interseção entre todas as dispersões das médias diárias dos três pontos com a dispersão da média das médias diárias para cada dia do fim de semana.

Apesar de não existir diferença entre os pontos 1 e 2 devido aos intervalos de dispersão, novamente os valores médios absolutos foram menores para o ponto 2, em todos os dias de aferição. Isso é um indício de que a presença de vegetação no ponto 2 influencia na redução das concentrações de CO₂. O ponto 3 apresentou valores médios semelhantes para todos os dias devido ao intervalo de dispersão. Mais uma vez, a avenida próxima ao parque, de grande movimento veicular durante a semana, não foi capaz de influenciá-las concentrações aferidas. Pode-se afirmar que a vegetação influencia na redução das concentrações.

Como aconteceu para o CO, observa-se a influencia da presença veicular e de áreas verdes nas concentrações de CO₂ independente do período de medição. Com o aumento do fluxo veicular, cresce a concentração de CO₂, enquanto que, em locais com áreas verdes, a concentração de CO₂ tende a diminuir. A vegetação é considerada sumidouro para CO₂ (BELLASSEN; LUYSSAERT; 2014).

4.5.4 Correlação do Dióxido de Carbono Utilizando KR7755 e MGA

I) Ponto 1: Avenida Governador Agamenon Magalhães

Para o período de janeiro, turno manhã, utilizando o KR7755 a média dos valores médios diários foi de 1.206,8 ppm com DP de 472,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.679,6 ppm (máximo) e 733,9 ppm (mínimo). Com o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1.414,2 ppm com DP de 476,5 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.890,7 ppm (máximo) e 937,6 ppm (mínimo).

Em relação à média das médias diárias o MGA apresentou erro percentual de 17,2%. Observa-se que, devido ao intervalo de dispersão, não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

Para o período de janeiro, no turno da tarde, a média dos valores médios diários utilizando o KR7755 foi de 1.363,3 ppm e DP de 500,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.864,1 ppm (máximo) e 862,5 ppm (mínimo). Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1499,2 ppm e DP de 534,4 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2033,4 ppm (máximo) e 964,8 ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 10 %. Devido ao intervalo de dispersão, não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

Para o período de julho, no turno da manhã, utilizando KR7755 a média dos valores médios diários foi de 1391,9 ppm e DP de 567,5 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1959,4 ppm (máximo) e 824,4 ppm (mínimo).

Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1522,0 ppm e DP de 602,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2124,8 ppm (máximo) e 919,2 ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 9,3 %. Devido ao intervalo de dispersão, novamente não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

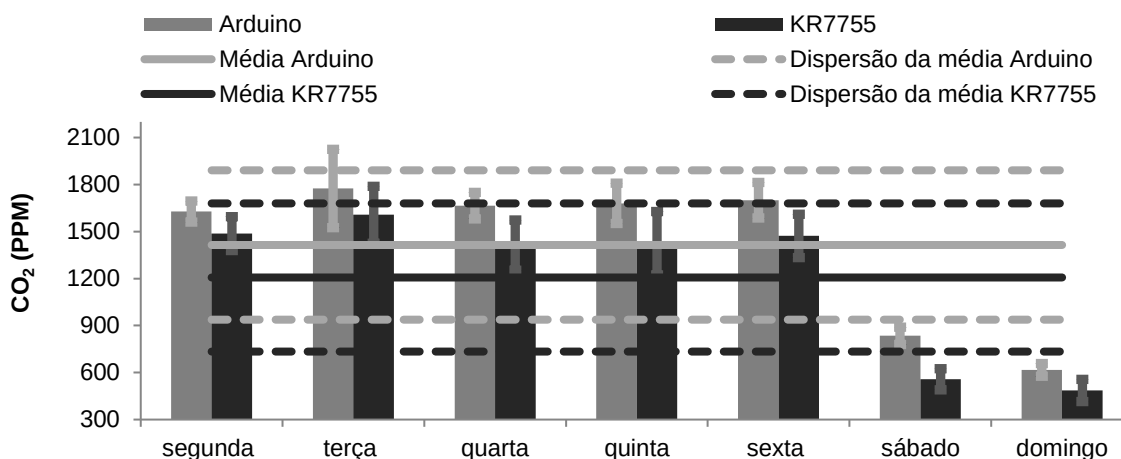
Para o período de julho, no turno da tarde, utilizando o KR7755, a média dos valores médios diários foi de 1386,9 ppm e DP de 524,5 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1911,4 ppm (máximo) e 862,4 ppm (mínimo).

Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1510,7 ppm e DP de 550,4 ppm apresentando valores extremos de dispersão 2061,1 ppm (máximo) e 960,3ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 8,9 %. Devido ao intervalo de dispersão, não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

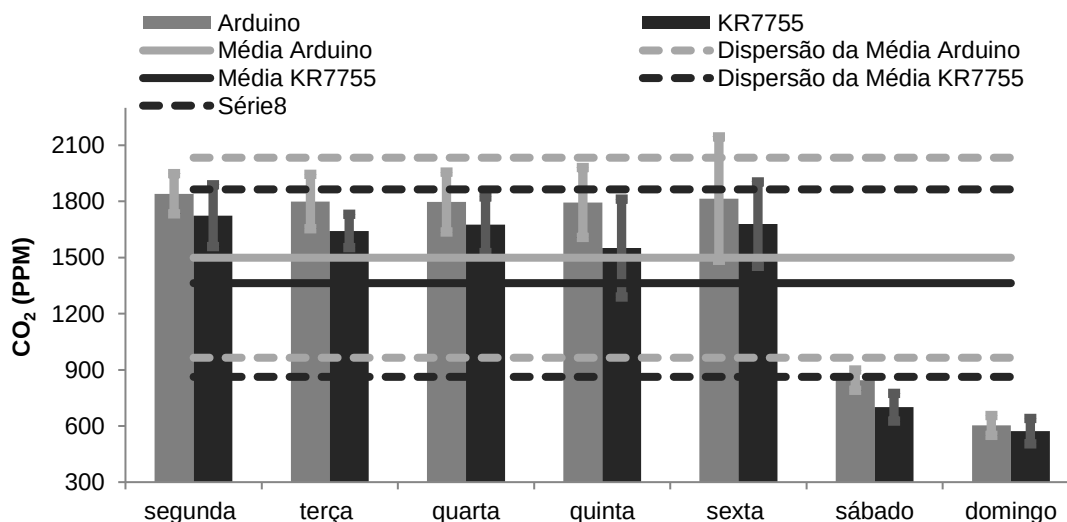
Os Gráficos 34, 35, 36 e 37 apresentam, para todos os períodos respectivamente, as médias diárias das concentrações de CO₂ com seus intervalos de dispersão com também a média das médias com os respectivos intervalos de dispersão para os dois medidores, para o ponto 1.

Gráfico 34 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro manhã, no ponto 1

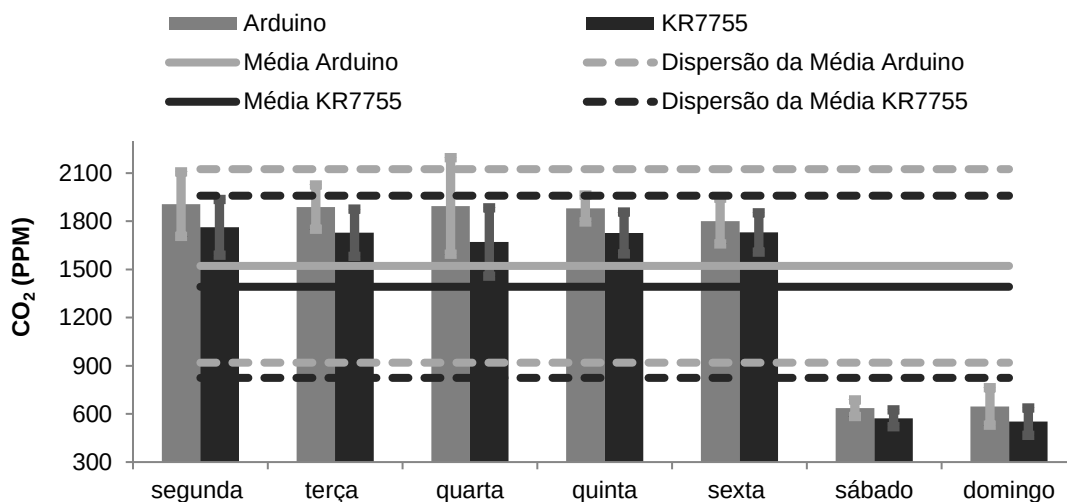
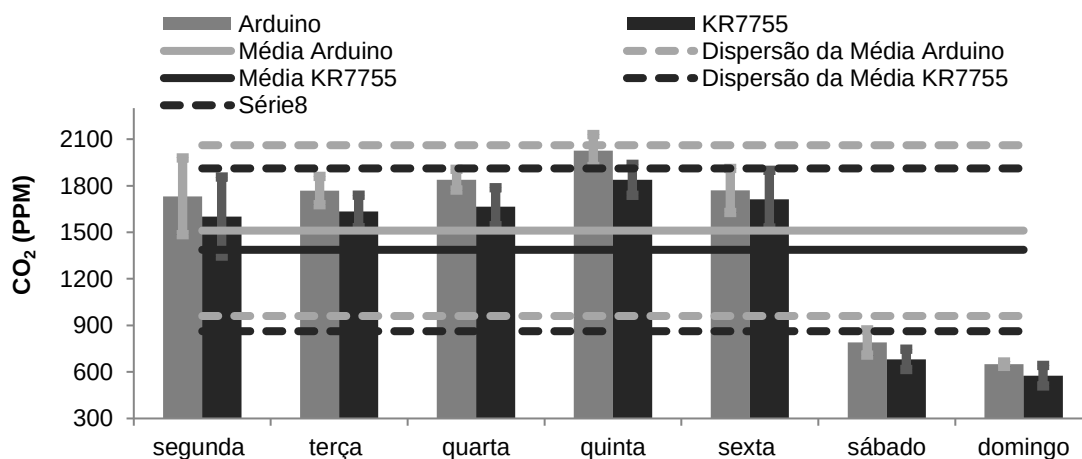


Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 35 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro à tarde, no ponto 1



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 36 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho pela manhã, no ponto 1Gráfico 37 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho à tarde, no ponto 1

Para o ponto 1, o comportamento das concentrações utilizando o KR7755 assemelha-se com o do MGA para todos os períodos analisados. Utilizando o MGA, as médias diárias não apresentam diferença de segunda a sexta devido às interseções dos seus intervalos de dispersão com o intervalo de dispersão da média das médias diárias.

Utilizando o KR7755O, o fim de semana apresenta redução significativa, pois os intervalos de dispersão das médias diárias não apresentam interseção com o intervalo de dispersão da média das médias diárias.

II) Ponto 2: Br 232, Km 7,5

Para o período de janeiro, turno manhã, utilizando o KR7755, a média dos valores médios diários foi de 1.144,7 ppm e DP de 405,4 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.550,2 ppm (máximo) e 739,3 ppm (mínimo). Com o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1.294,1 ppm com DP de 422,4 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.716,5ppm (máximo) e 871,8 ppm (mínimo).

Em relação à média das médias diárias o MGA apresentou erro percentual de 13,0%. Observa-se que, devido ao intervalo de dispersão, não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

Para o período de janeiro, no turno da tarde, a média dos valores médios diários foi de 1.146,8 ppm e DP de 423,7 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.570,5 ppm (máximo) e 723,0 ppm (mínimo). Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1.310,6 ppm e DP de 478,3 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.788,9 ppm (máximo) e 832,3 ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 14,3 %. Devido ao intervalo de dispersão, não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

Para o período de julho, no turno da manhã, utilizando KR7755 a média dos valores médios diários foi de 1.192,9 ppm e DP de 405,7 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.598,5 ppm (máximo) e 787,2 ppm (mínimo).

Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1.371,0 ppm e DP de 442,3 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.813,3 ppm (máximo) e 928,7 ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 14,9 %. Como existe interseção entre os intervalos de dispersão da média das médias utilizando o KR7744 e o MGA, novamente não houve diferença significativa entre a utilização de qualquer um dos equipamentos.

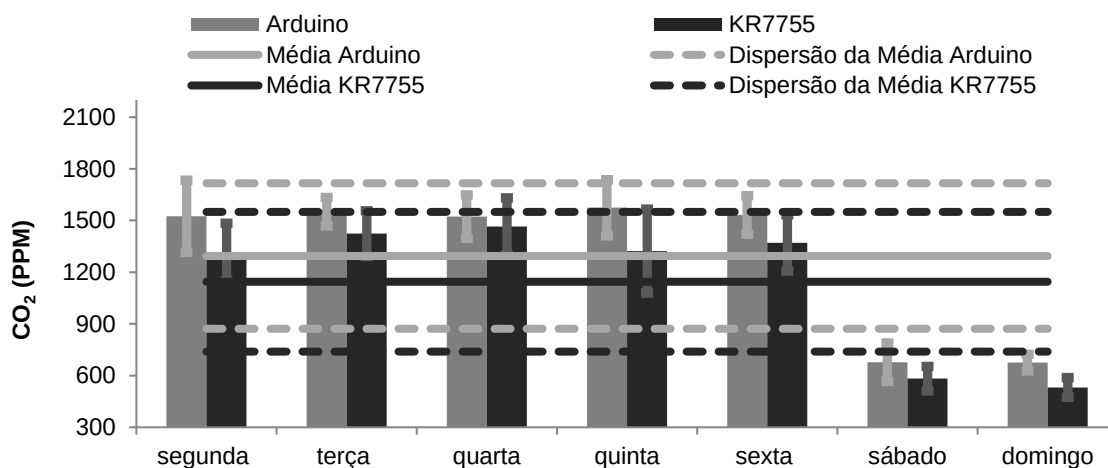
Para o período de julho, no turno da tarde, utilizando o KR7755, a média dos valores médios diários foi de 1.165,8 ppm e DP de 382 ppm apresentando valores extremos de dispersão 1.547,8 ppm (máximo) e 783,8 ppm (mínimo).

Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 1.332,3ppm e DP de 406,2ppm apresentando valores extremos de dispersão 1738,6 ppm (máximo) e 926,1 ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 14,3 %. Devido ao intervalo de dispersão para a média das médias de cada equipamento, não houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

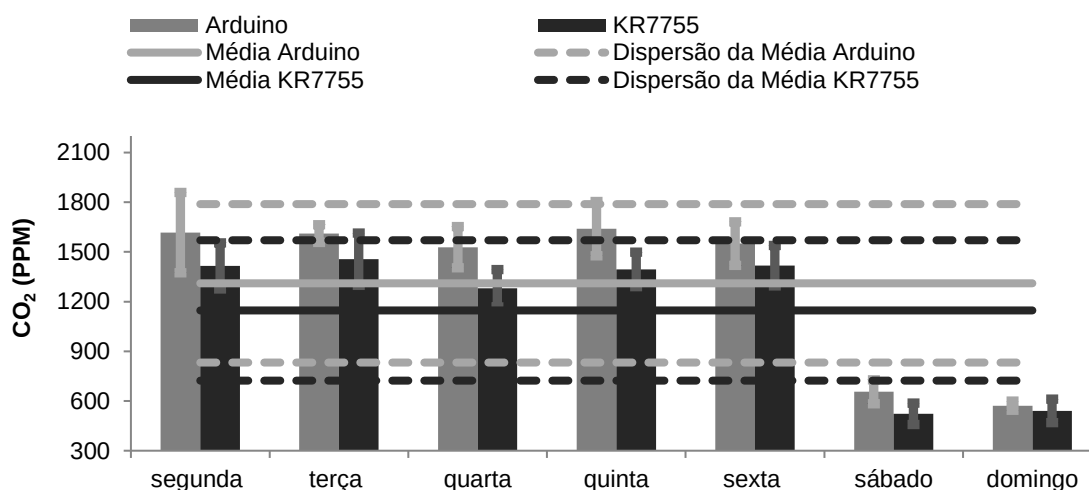
Os Gráficos 38, 39, 40 e 41 apresentam, para todos os períodos de aferição, as médias diárias das concentrações de CO₂ com seus intervalos de dispersão com também a média das médias com os respectivos intervalos de dispersão para os dois medidores, para o ponto 2.

Gráfico 38 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro manhã, no ponto 2

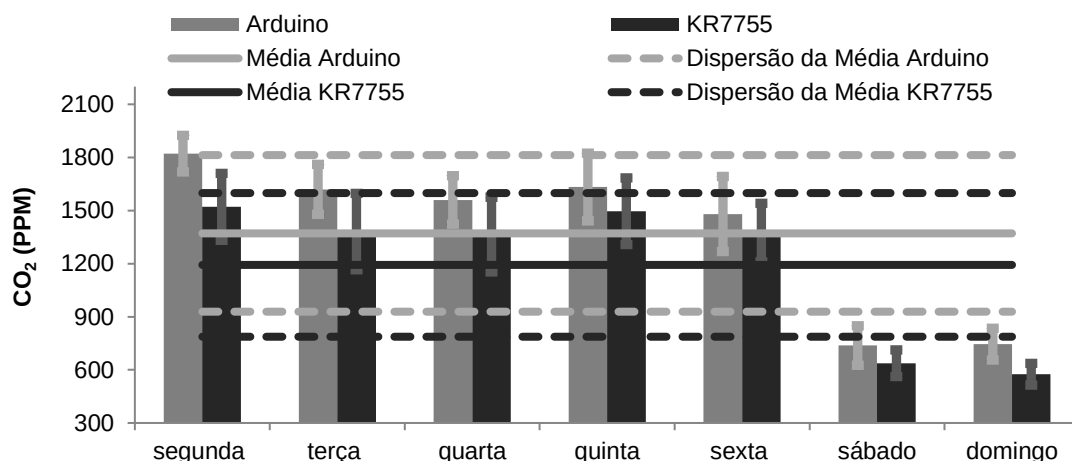


Fonte: Autoria Própria.

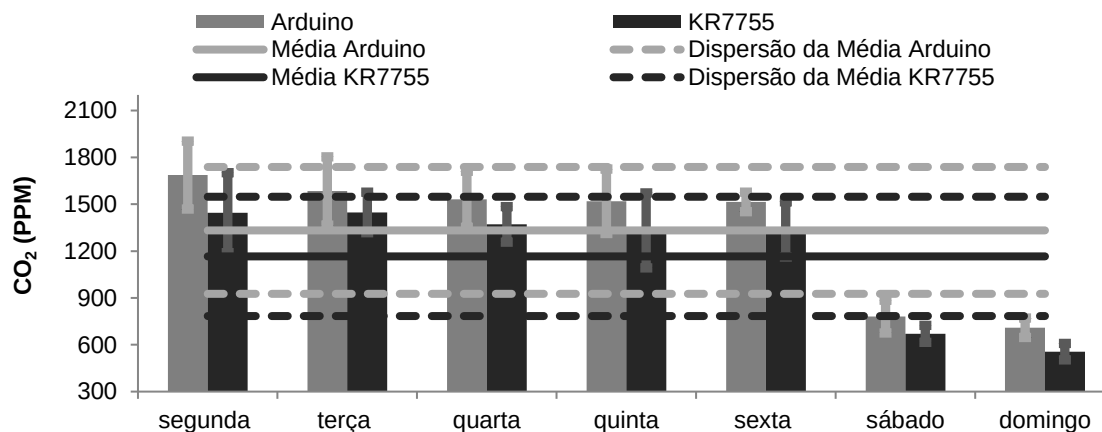
Gráfico 39 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro à tarde, no ponto 2



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 40 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho pela manhã, no ponto 2

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 41 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho à tarde, no ponto 2

Fonte: Autoria Própria.

Para o ponto 2, o comportamento das concentrações utilizando o KR7755 assemelha-se com o do MGA para todos os períodos analisados. Utilizando o MGA, as médias diárias não apresentam diferença de segunda a sexta devido às interseções dos seus intervalos de dispersão com o intervalo de dispersão da média das médias diárias.

Utilizando o KR7755O, o fim de semana apresenta redução significativa, pois os intervalos de dispersão das médias diárias não apresentam interseção com o intervalo de dispersão da média das médias diárias.

III) Ponto 3: Parque da Jaqueira

Para o período de janeiro, turno manhã, utilizando o KR7755, a média dos valores médios diários foi de 466,4 ppm com DP de 19,8 ppm apresentando valores extremos de

dispersão 486,3 ppm (máximo) e 446,6 ppm (mínimo). Com o MGA, a média dos valores médios diários foi de 542,4 ppm com DP de 33,1ppm apresentando valores extremos de dispersão 575,6ppm (máximo) e 509,3ppm (mínimo).

Em relação à média das médias diárias o MGA apresentou erro percentual de 16,2%. Os intervalos de dispersão não possuem interseção. Desta forma, houve uma diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA. Os valores médios das médias do MGA foram superiores quando comparados com o KR7755.

Para o período de janeiro, no turno da tarde, a média dos valores médios diários foi 461,3 ppm com DP de 31,4 ppm com valores extremos de 492,7 ppm (máximo) e 429,8 ppm (mínimo). Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 533,2ppm e DP de 39,6ppm apresentando valores extremos de dispersão 572,8ppm (máximo) e 493,6ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 15,6 %. Observa-se a não interseção dos intervalos de dispersão das médias das médias diárias. Pode-se dizer que houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

Para o período de julho, no turno da manhã, utilizando KR7755 a média dos valores médios diários foi 436,6 ppm com DP de 13,9 ppm com valores extremos de 450,6 ppm (máximo) e 422,7 ppm (mínimo). Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 475,9 ppm e DP de 25,8ppm apresentando valores extremos de dispersão 501,7 ppm (máximo) e 450,2ppm (mínimo).

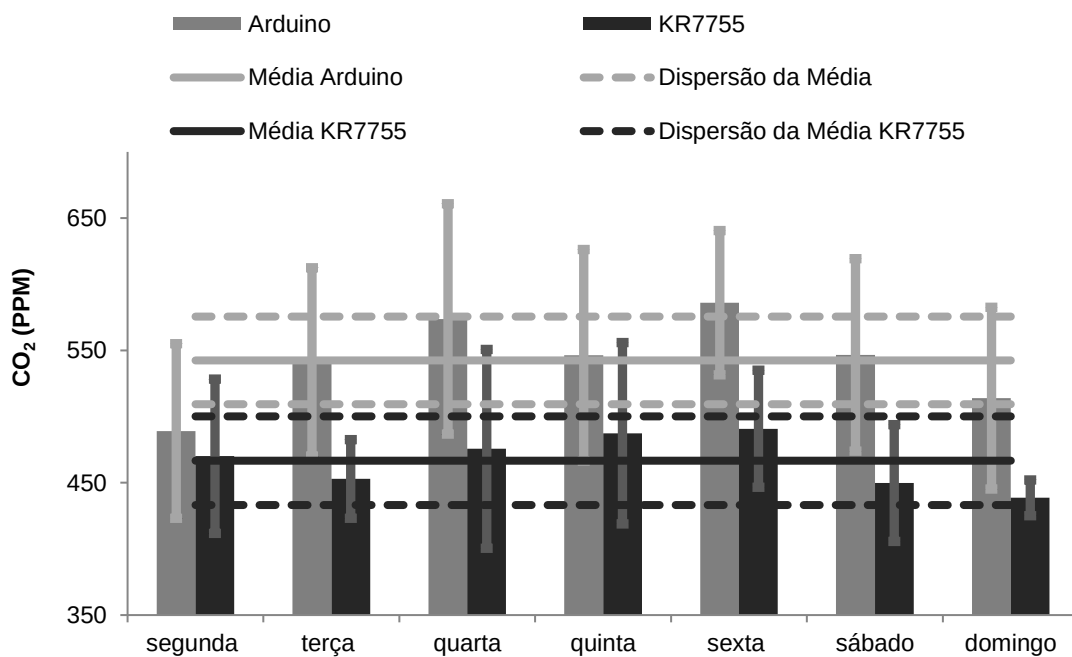
O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 9,0 %. Neste caso, como existe interseção entre os intervalos de dispersão da média das médias utilizando o KR7744 e o MGA, não houve diferença significativa entre a utilização de qualquer um dos equipamentos.

Para o período de julho, no turno da tarde, utilizando o KR7755, a média dos valores médios diários foi de 422,9 ppm e DP de 6,8 ppm apresentando valores extremos de dispersão 429,7 ppm (máximo) e 416,1 ppm (mínimo). Utilizando o MGA, a média dos valores médios diários foi de 461,7 ppm e DP de 16,0ppm apresentando valores extremos de dispersão 477,7 ppm (máximo) e 445,8ppm (mínimo).

O MGA apresentou erro percentual da média das médias diárias de 9,2 %. Não existe interseção dos intervalos de dispersão das médias das médias diárias. Pode-se dizer que houve diferença significativa entre utilizar o KR7755 e o MGA.

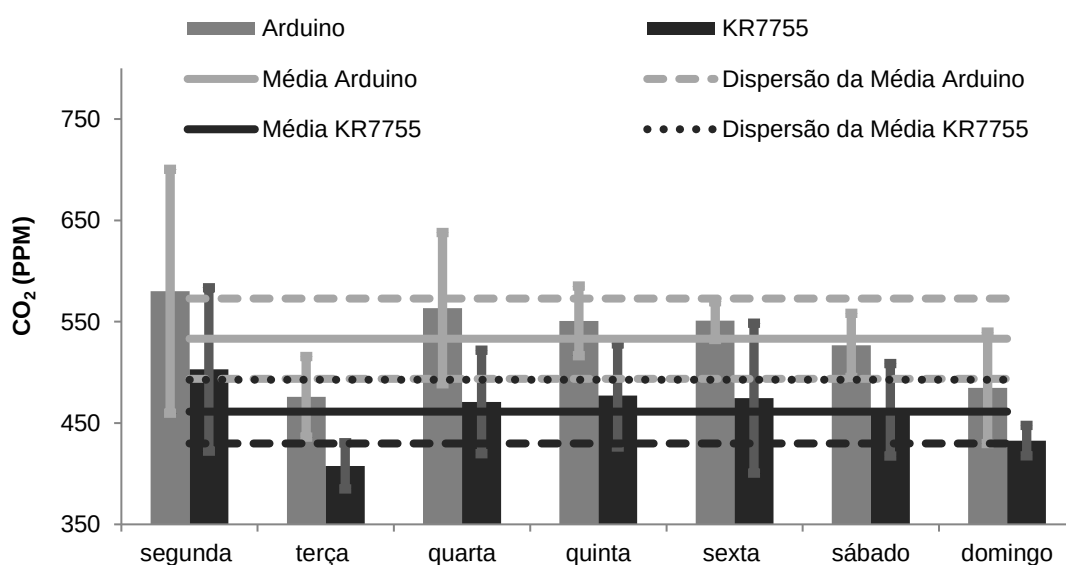
Os Gráficos 42, 43, 44 e 45 apresentam, para todos os períodos de aferição, as médias diárias das concentrações de CO₂ com seus intervalos de dispersão com também a média das médias com os respectivos intervalos de dispersão para os dois medidores.

Gráfico 42 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro manhã, no ponto 3

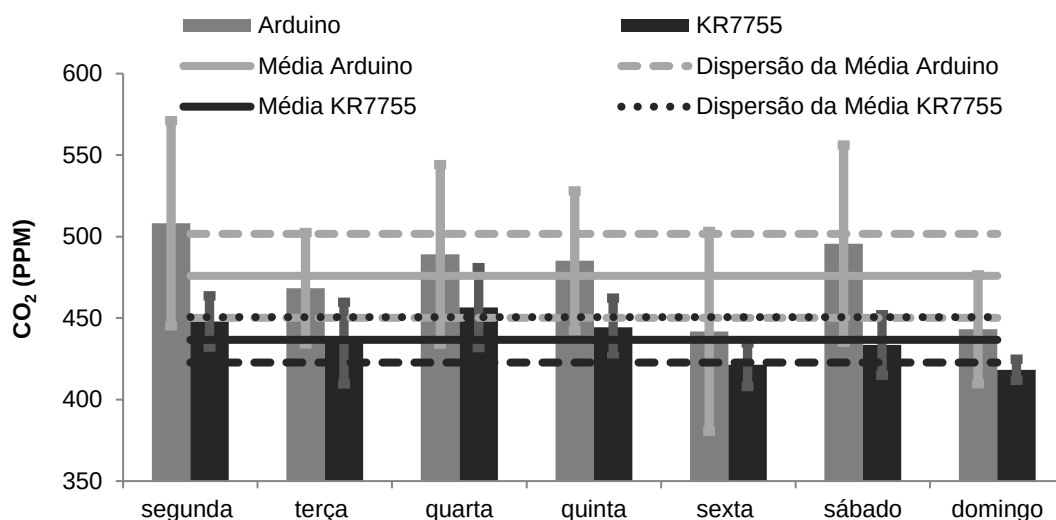


Fonte: Autoria Própria.

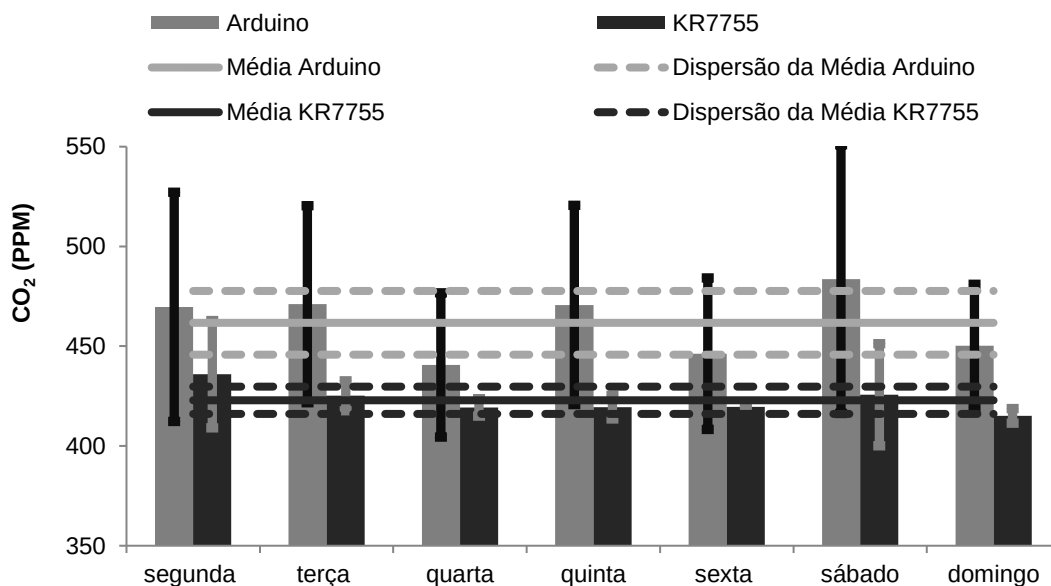
Gráfico 43 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de janeiro à tarde, no ponto 3



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 44 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho pela Manhã, no ponto 3

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 45 – CO₂ com KR7755 e com o MGA no mês de julho à tarde, no ponto 3

Fonte: Autoria Própria.

Para o ponto 3, apenas as medidas realizadas no período de julho manhã foram significativamente semelhantes devido aos intervalos de dispersão. Para esse período foi indiferente a utilização do KR7755 ou do MGA. Para os outros períodos (janeiro manhã e tarde

e julho tarde) o MGA apresentou erro significativo comparado com o KR7755, mostrando-se não confiável.

Após os resultados obtidos através do MGA, observam-se vantagens e desvantagens em sua utilização. A sua viabilidade dependendo diretamente do objetivo da atividade. Dentre as vantagens, pode-se destacar:

- Baixo custo dos componentes.
- Fácil programação.
- Fácil manuseio.
- Facilidade em reposição dos componentes.
- Durabilidade elevada dos componentes.
- Grande intervalo de detecção dos sensores.
- Possibilidade de ser portátil.

Mas também existem desvantagens que podem ser minimizadas dependendo do objetivo de sua utilização. Dentre as desvantagens, pode destacar:

- *O intervalo de tempo que leva para estabilizar.*

Durante as primeiras 48h após o início de funcionamento, as medidas coletadas não são confiáveis, sofrendo grandes variações. Após esse período, as medidas estabilizam podendo iniciar as coletas de forma confiável. Caso o MGA seja desligado, ao ligar novamente, esse período de estabilidade deverá ser respeitado para retomar as coletas.

Problemas que aconteçam na fonte de alimentação de forma que o dispositivo não receba mais energia representam atraso nas coletas porque ao reiniciar, os valores confiáveis só acontecerão após o período de estabilidade. Sendo assim, ao utilizar o MGA, aconselha-se a utilização de fontes de alimentação sobressalente para situações emergenciais.

- *O sensor MQ-9, responsável pela detecção do CO não detecta concentrações abaixo de 10 ppm.*

Respeitar o intervalo de medição dos sensores é fundamental. Todo sensor opera em um intervalo de detecção. Mas, o valor de 10 ppm é um valor acima do limite superior que é

estipulado pelo MMA (2018) para indicar uma boa qualidade do ar. Sendo assim, não se pode utilizar o MGA em estudos onde as concentrações de CO são abaixo de 10ppm.

- *Erro do MGA.*

Em situações onde existem grandes flutuações de CO₂, os valores médios do equipamento KR7755 são semelhantes ao do MGA devido à interseção dos intervalos de dispersão. Sendo assim, os valores coletados pelo MGA apresentam confiabilidade. Mas em situações onde as concentrações de CO₂ apresentam pequenas flutuações, o MGA apresenta erro significativo. Em situações onde o valor absoluto da medida precisa de confiabilidade, ao utilizar o MGA, faz-se necessário a utilização de outro equipamento oficial calibrado de forma concomitante para verificar a validade das medidas.

4.6 CONCENTRAÇÃO DOS GASES E OS RISCOS À SAÚDE DA POPULAÇÃO

No Brasil, o CONAMA estipula, através de sua resolução, limites de padrão de qualidade do ar para o CO e não para o CO₂.

Para o CO, o ar atmosférico é considerado Bom quando as concentrações compreendem o intervalo de 0 a 9ppm. Os maiores valores de CO ocorreram durante a semana (segunda a sexta) nos pontos 1 e 2. No fim de semana (sábado e domingo) os valores tenderam a zero. Pode-se destacar como o valor médio máximo a concentração no ponto 1, no mês de janeiro à tarde que foi de 1,6 ppm com DP de 0,9 ppm. No ponto 3, para todos os dias o valor foi nulo. Observa-se que para todos os pontos escolhidos, e em todos os períodos, os valores encontrados estão abaixo de 9 ppm. Pode-se concluir que, em relação ao CO, o ar é considerado Bom mesmo nos horários considerados de pico.

A ANVISA estipula os níveis de CO₂ para ambientes fechados. Valores menores que 1000 ppm são considerados aceitáveis para o conforto e bem-estar. Valores iguais ou maiores que 1000 ppm são de níveis elevados, prejudiciais à saúde. A ANVISA mantém a recomendação da OMS como sendo de 1000 ppm de CO₂ o limite para a renovação do ar. Embora as concentrações típicas de CO₂ ao ar livre sejam de aproximadamente 380 ppm, os níveis externos em áreas urbanas podem chegar à 500 ppm (Persily, 1997).

Os valores de concentração de CO₂ foram maiores nos pontos 1 e 2 durante a semana (segunda a sexta) sofrendo redução no fim de semana (sábado e domingo), para todos os períodos analisados. O ponto 3 apresentou valores semelhantes em todos os períodos

independente do dia da semana. O ponto 3 apresentou semelhança com as medidas do fim de semana dos pontos 1 e 2.

Pode-se destacar a concentração média do ponto 1, do mês de julho pela manhã com 1.391,9 ppm e DP de 567,5 ppm como valor máximo atingido e do ponto 3 no mês de julho à tarde com 422,9 ppm e DP 6,8 ppm como sendo o valor mínimo atingido. Independente do período, todos os valores durante a semana para os pontos 1 e 2 foram acima de 1000 ppm. Acima do valor limite aceito pela OMS.

Finalis de semana, para os pontos 1 e 2, como também para todos os dias no ponto 3, as concentrações foram abaixo de 1000 ppm, independente do período. Valores considerados aceitos pela OMS.

Apesar do valor recomendado pela OMS seja até 1000 ppm, experimentos mostram que ao respirar de 600 a 1000 ppm, a concentração de CO₂ no sangue pode causar acidose, dores de cabeça, fadiga e redução da capacidade cognitiva. Esses sintomas são potencializados com exposições de 1000 a 2000 ppm (BIERWIRTH, 2018).

De 2000 até 5000 ppm de CO₂, os estudos demonstram o impacto de tentativas do corpo para compensar o aumento da acidez no sangue. Estes efeitos incluem calcificação do rim, degradação óssea e distúrbios do fluxo sanguíneo cerebral. Este último pode estar relacionado a uma diminuição em habilidades cognitivas e dano cerebral potência (SATISH et al., 2012).

Apesar de existirem problemas causados pelo CO₂ em alguns estudos para concentrações entre 2000 e 5000 ppm, os limites máximos de exposição ocupacional recomendados para uma jornada de 8 horas são de 5.000 ppm, para a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA, 2012) e a Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (ACGIH, 2011).

Sendo assim, como todos os valores coletados de CO₂, para todos os pontos independente do período, foram abaixo de 2000 ppm, (já considerando o intervalo de dispersão), pode-se concluir que essas concentrações não oferecem maiores riscos à saúde da população.

Mas, de acordo com Magalhaes et al. (2011) houve um incremento da mortalidade em relação à idade às doenças respiratórias na cidade do Recife- PE. Isso pode representar um possível aumento da concentração de outros gases poluentes, além do CO e CO₂, na atmosfera da cidade.

A RMR vem sendo monitorada há alguns anos em alguns pontos, a partir do uso de líquens e plantas superiores (ALMEIDA, 2015; FREITAS, 2006; MOTA-FILHO et al., 2007; SANTOS, 2011; SILVA, 2002). Santos (2016) em seu trabalho avaliou a qualidade do ar na

RMR utilizando o líquen *Cladonia verticillaris* e a bromélia *Tillandsia recurvata*, por meio da quantificação de elementos químicos associados ao tráfego de veículos em seus tecidos. Os resultados obtidos forneceram novos conhecimentos a respeito da poluição gerada pelo intenso tráfego de veículos na RMR. Mas, esses estudos, apesar de detectar a presença de vários poluentes atmosféricos, não quantificam as concentrações dos gases poluentes.

A Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH, 2019) afirma que não existe monitoramento de poluentes atmosféricos em Recife-PE. Medições das concentrações dos diferentes tipos de poluentes são de fundamental importância para avaliar a qualidade do ar da cidade.

O número limitado de estações de monitoramento de poluentes atmosféricos faz com que não saibamos a qualidade do ar de diversas cidades brasileiras. O baixo investimento nesta área é o principal responsável. Como consequência, temos a ausência de compreensão da população sobre as causas e consequências da poluição atmosférica. Os órgãos governamentais, através de engajamento contínuo, podem minimizar esses problemas avaliando constantemente os níveis de poluição e elaborando estratégias de manutenção dos padrões nacionais de qualidade do ar.

Outro problema encontrado são os valores dos padrões de qualidade do ar estipulados pelo CONAMA. Desde a elaboração da legislação brasileira para os padrões de qualidade do ar, o país passou por várias mudanças significativas como aumento da frota de veículos e maior industrialização, somado a isso a grande extensão territorial com variações econômicas, sociais e políticas (SILVA; VIEIRA, 2017).

Atualmente existe uma disparidade dos valores nacionais em relação aos valores internacionais de qualidade do ar (LIMA, et al., 2012). Faz-se necessário, a revisão dos padrões de qualidade do ar, através de discussões entre a sociedade e o poder público, estabelecendo valores mais adequados à realidade atual do país e às preocupações com o meio ambiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os totais anuais de CO e CO₂ emitidos pela frota veicular no período de 1990 a 2016, independente de usar apenas álcool ou gasolina, apresentaram crescimento significativo com o passar dos anos. Ressalta-se que para os veículos mais novos houve uma diminuição, atribuídos aos avanços tecnológicos para redução da emissão de gases. Mesmo apresentando essa redução para veículos mais novos, o crescimento acentuado da frota foi determinante, contribuindo de forma significativa com o aumento das emissões.

Desta forma, pode-se afirmar que o expressivo aumento da frota veicular da cidade do Recife-PE vem contribuindo com as emissões desses gases para a atmosfera. Muitos desses poluentes emitidos pelos veículos fazem parte dos gases do efeito estufa, e possivelmente estão contribuindo com o aquecimento do planeta.

As emissões de marcha lenta, para os HC e CO, apresentaram uma redução para baixa rotação e para alta rotação. Constatou-se que as medidas de emissão realizadas com automóveis com mesma quilometragem, mas de idades diferentes, também mostraram que os automóveis mais antigos emitem mais HC e CO.

Medidas realizadas nos veículos de mesma idade, mas de quilometragens diferentes, mostraram que os veículos que apresentaram maior quilometragem total percorrida também emitem mais HC e CO. O principal responsável por esse crescimento é o desgaste dos componentes do motor.

Fazendo um comparativo com os dados fornecidos pela CETESB, em relação ao CO, as reduções dos valores emitidos por veículo utilizados no cálculo das emissões totais corroboram com o resultado das medidas realizadas de marcha lenta. Veículos mais novos, com processos aprimorados na combustão, juntamente com o desenvolvimento de melhores catalizadores e menos injeção de combustível, contribuem com a redução de CO.

Os valores médios das emissões de marcha lenta para CO₂ apresentaram crescimento percentual significativo de 2005 a 2006, independente da quilometragem e rotação. No período de 2006 a 2017, apresentou-se constante devido à interseção dos intervalos de dispersão. Para automóveis de mesma idade, mas de quilometragens diferentes, houve crescimento nas emissões para os veículos com menor quilometragem por possuírem menos desgaste do motor. Veículos de mesma quilometragem, mas de idades diferentes, os mais novos representaram maiores valores de CO₂.

Provavelmente, os veículos apresentaram melhoria nos processos tecnológicos, em relação à mistura ideal para a combustão contribuindo com o aumento de CO₂, mas houve avanços na redução de combustível inserido na câmara, como também melhoria dos catalizadores, contribuindo para uma redução de CO₂. Desta forma, esses fatores antagônicos contribuíram para uma redução dos valores disponibilizados pela CETESB, enquanto que, para as medidas em marcha lenta, provocaram estabilidade nas emissões de CO₂ detectada a partir de 2006. Fazem-se necessárias mais medições em marcha lenta para observar essa redução de emissão de CO₂ em veículos mais novos, como a CETESB afirma.

Em relação as emissões totais anuais, a perspectiva para o CO e CO₂ é de que as emissões aumentem sem previsão de diminuição, devido ao crescimento da frota.

As medidas realizadas das concentrações de CO nos pontos 1- com fluxo veicular e sem arborização (Av. Agamenon Magalhães), 2 - com fluxo veicular e com arborização (BR 232), 3 - sem presença veicular e com arborização (Parque da Jaqueira). mostraram que o ar é considerado Bom, mesmo nos horários de maior movimentação veicular, classificado pelo CONAMA, independente do período de medição, das temperaturas e umidades do ar. Considerando que os pontos 1 e 2 estão entre os pontos de maiores concentrações veiculares, provavelmente na cidade do Recife-PE as concentrações de CO apresentam valores abaixo do que estabelece o CONAMA.

Nos pontos 1 e 2, na presença de grande fluxo veicular, as concentrações foram maiores (durante a semana), e menores com menor fluxo veicular (fins de semana). O ponto 3 não apresentou concentrações de CO, mesmo próximo de uma avenida de grande tráfego veicular durante a semana, mostrando a influência da vegetação na absorção de CO.

Para as concentrações de CO₂, os pontos 1 e 2 também apresentaram maiores valores durante a semana, e diminuição significativa nos fins de semana, independente do período analisado. O ponto 3 apresentou valores semelhantes para todos os períodos, independente do dia da semana, equivalentes aos valores dos pontos 1 e 2 nos finais de semana.

Para os pontos 1 e 2, todos os valores durante a semana foram acima de 1000 ppm, acima do valor limite aceito pela OMS. Finais de semana, para todos os pontos, as concentrações foram abaixo de 1000 ppm, aceitos pela OMS.

Os valores absolutos de CO₂ do ponto 2 também foram discretamente inferiores quando comparados com o ponto 1, independente do período. A maior presença de vegetação do ponto 2 em relação ao ponto 1 poderia estar sendo o responsável por essa diferença das concentrações, mas estatisticamente não se pode afirmar que houve diferença significativa entre os pontos 1 e 2. A avenida de grande tráfego veicular durante a semana, nas proximidades do ponto 3 não influenciou as medições. Pode-se concluir que a presença da vegetação está influenciando as baixas concentrações de CO₂.

O MGA utilizado nas medições de CO₂ mostrou-se confiável nas situações onde existem grandes flutuações do poluente por apresentar seus valores médios semelhantes ao do equipamento KR7755. Em situações onde as concentrações de CO₂ apresentam pequenas flutuações, o MGA apresenta erro significativo. Além de apresentar, quando é ligado, um grande tempo de estabilidade para iniciar as medições de forma confiável. Constatou-se que sua viabilidade dependerá do objetivo do trabalho e das condições à qual o aparelho estará submetido.

O investimento em tecnologia para desenvolvimento de máquinas térmicas melhores é de extrema importância, pois apenas assim, torna-se possível minimizar os níveis de emissão desses componentes. O desenvolvimento em tecnologias automotivas vem sendo incentivados por programas de transparência, como por exemplo, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), com o objetivo de informar o consumo de combustível pelo veículo. Empresas podem aderir ao projeto de forma voluntária nos quais os fabricantes testam os veículos leves movidos a gasolina, etanol ou GNV (de fábrica), por modelo que serão comercializados, declarando ao INMETRO os valores de consumo de cada combustível. Os modelos participantes são, então, comparados de "A" a "E" dentro de suas categorias. Os valores de consumo e a classificação são informados nas páginas eletrônicas do INMETRO e do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e nas etiquetas afixadas opcionalmente nos veículos pelos fabricantes participantes.

Programas que incentivem a transparência das emissões por veículo para a população são de grande importância. O selo Pró- Ar é um exemplo que vem dando certo. Esse selo denominado Pró- Ar é fixado nos novos automóveis em seu processo de venda, com o objetivo de expor as concentrações dos principais poluentes emitidas por aquele veículo. Dentre os principais poluentes do selo, podemos destacar CO, CO₂, HC e NO₂.

Mais ações precisam ser realizadas, com objetivo de reduzir as emissões de poluentes automotivos, visando resultados a médio e longo prazo, seja na elaboração de limites legais mais restritivos ou por investimentos em mecanismos de controle e mitigação das emissões de poluentes.

O crescimento de áreas verdes na cidade principalmente nas regiões de grande tráfego veicular são de grande importância para a redução dos níveis de gases poluentes. Ações que controlem e reduzam as emissões automotivas são importantes, mas essas ações devem ser realizadas de forma concomitante com o monitoramento do ar da cidade. Através do monitoramento das concentrações de poluentes no ar, pode-se afirmar se as ações de controle/redução de emissões veiculares estão dando resultado.

O monitoramento da qualidade do ar da cidade do Recife-PE precisa ser realizado. O baixo investimento nesta área é o principal responsável pela ausência de monitoramento da qualidade do ar.

Qualidade do ar é um assunto tratado em todo o mundo. A poluição atmosférica afeta diversas populações que possuem grande poder emissor, portanto, deve ser encarada por toda sociedade e esferas governamentais não apenas como uma questão política e social, mas também uma questão de saúde pública.

Atualmente não se observa uma solução permanente para esse problema, mas o controle e o monitoramento dessas emissões precisam andar juntos. A fiscalização contínua daqueles que poluem precisa existir para que os níveis de contaminantes no ar das cidades estejam dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, eliminando assim os possíveis riscos à saúde.

REFERÊNCIAS

- ACGIH -American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **TLVs and BEIs**. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2011.
- ALEIXANDRE, M.; GERBOLES, M. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas. **Chemical Engineering Transaction**, vol. 30, no. 169-174, pp. 169-174, 2012.
- ALMEIDA, A. C. **Avaliação do potencial de acumulação de ^{210}Pb pela *Tillandsia recurvata* L. para fins de biomonitoração da qualidade do ar**. Dissertação (Mestrado). UFPE. 2015.
- AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Revista da Associação Médica Brasileira**. Rev. Assoc. Med. Bras. vol.58 no.3 São Paulo Maio/junho, 2012.
- ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP**. Disponível em: <http://www.antp.org.br/relatorios-a-partir-de-2014-nova-metodologia.html>. Acesso em: 10 de jan. de 2018
- ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara- SP**. Tese de doutorado, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo 2001.
- ARDUINO. **Site Arduino**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 02 janeiro de 2019.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. [S.I.]: Bertrand Brasil, 1996.
- BÂRSAN, N., HUEBNER, M.; WEIMAR, U. **Conduction Mechanism in Semiconducting Metal Oxide Sensing Films: Impact on Transduction**. In R. Jaaniso & O. K. Tan (Eds.), *Semiconductor Gas Sensors* (pp.35–63). Elsevier. 2013.
- BARSAN, N.; WEIMAR, U. Conduction model of metal oxide gas sensors. **Journal of Electroceramics**, 7(3), 143–167, 2001.
- BASCOM, R. et. al. Health effects of outdoor air pollution. Department of Medicine Penn State Cancer Institute. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**. v. 153, p. 3-50; 477- 498, 1996.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, Weather and Climate**. 8. ed. London: Routledge, 2003. Cap. 2, 9 p.
- BAUKAL, C. E. **The John Zink Combustion Handbook**. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2001.

BBC News. **Brasileiro cresce em altura nos últimos cem anos, mas ainda é 'baixinho'; conheça o ranking mundial**. 2016. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-36892772>. Acesso em: 10 ago. 2018.

BELLASSEN, V.; LUYSSAERT S. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times. **Nature**, Vol 506. 2014.

BICKERT, S.; KAMPKER, A.; GREGER, D. **Developments of CO₂-emissions and costs for small electric and combustion engine vehicles in Germany**. / Transportation Research Part D, pag. 138–151, 2015.

BIERWIRTH, P.N. **Carbon dioxide toxicity and climate change: a major unapprehended risk for human health**. Ph.D Emeritus Faculty Australian National University First draft. Dec 2018.

BOUCHER, O.; MYHRE, G.; MYHRE, A. Direct human influence of irrigation on atmospheric water vapour and climate. **Climate Dynamics** 22: 597–603, 2004.

BURLEY J, EVANS J, YOUNGQUIST JA. Encyclo. For. Sci. 1:144-149.2004.

BRASIL - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Legislação**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/legislacao#/>. Acesso em: 03 janeiro de 2019.

BRANCO, G. M. e WALSH, M. P. **Controle da poluição dos veículos a Diesel. Uma estratégia para o Progresso no Brasil**. Fundação Hewlett, Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Site institucional**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

CAPONE, S.; FORLEO, A.; FRANCIOSO, L.; RELLA, R., SICILIANO, P.; SPADAVECCHIA, J.; TAURINO, A. M. Solid State Gas Sensors: State of the Art and Future Activities. **ChemInform**, 35(29). 2004.

CARVALHO. C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Instituto de pesquisa econômica aplicada, Brasília, 2011.

CASTELL, N. et al. **Real-world application of new sensor technologies for air quality monitoring**. European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation, Bilthoven, 2013.

CASTRO, H. A. et al. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Rev. Bras. Epidemiol.** vol. 6, Nº 2, 2003.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Emissões Veiculares- 2012**. São Paulo, SP, 2012.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emissões Veiculares**. São Paulo, SP, 2018.

COELHO, S. Z. S. M. **Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de interações por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas na cidade de São Paulo**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

COHEN, Aaron J. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **The Lancet**. Volume 389, Issue 10082, 13–19 May 2017, Pages 1907-1918.

CORONADO, C. R.; CARVALHO, J. A.; SILVEIRA, J. L. **Biodiesel CO₂ emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market**. São Paulo State University, Campus of Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2009, SP, Brazil.

CPRH- Agência Estadual de Meio Ambiente. **Monitoramento da poluição atmosférica**. 2019. Disponível em: <https://m.noticias.ne10.uol.com.br/grande-recife/noticia/2016/08/18/monitoramento-da-poluicao-atmosferica-no-grande-recife-e-deficiente-632674.php>. Acesso em junho de 2019.

CTTU- **Companhia de Trânsito e Transporte Urbano**. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/secretariaorgao/cttu>. Acesso em agosto de 2018.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, 30-86, 2016.

DETRAN-PE. Departamento estadual de trânsito de Pernambuco. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.detran.pe.gov.br/>. Acesso em: 20 de novembro de 2018.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Pesquisa Origem/Destino identifica de que formas a cidade se desloca e aponta desafios da mobilidade**. Disponível em: https://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/vida-urbana/2018/12/13/interna_vidaurbana,770900/no-recife-maior-horario-de-pico-e-das-19h-as-20h.shtml . Acesso em: dezembro de 2018.

DIEESE- Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.dieese.org.br/> . Acesso em: nov. 2018.

DOCKERY, D.W.; POPE, C.A. **Acute respiratory effects of particulate air pollution**. **Annu. Rev. Public. Saúde**, v.15, p.107-32, 1994.

Eletrogate Componentes Eletrônicos. **Apostila Arduino Básico V 1,0**. Disponível em: www.eletrogate.com. Acesso em: fev. 2018.

FAHEY, DW. Avaliação Científica da destruição do ozônio. **Global Research ozônio e Projeto de Monitoramento**: Relatório n ° 50, Suíça, 2007. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/2006/twentyquestions.html&anno=2>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FILIFELOP- **Componentes eletrônicos**. Disponível em: <https://www.filieflop.com/>. Acessado em: 20 mar. 2018.

FILIFELOP – **Tipos de Arduino**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/tipos-de-arduino-qual-comprar/>. Acessado em: 22 mar. 2018

FILHO, J. B. G. **POLUIÇÃO DO AR. Aspectos Técnicos e Econômicos do Meio Ambiente**. 1989. Disponível em: www.consultoriaambiental.com.br. Acessado em: 20 out. 2017.

FREITAS, F. M. R. **Uso de Cladonia verticillaris (Raddi) Fr. (Líquén) como biomonitor da qualidade do ar no complexo industrial Portuário de SUAPE-PE**. Universidade Federal de Pernambuco – Dissertação (Mestrado), Recife, 2006.

FREITAS, C.; BREMNER, S. A.; GOUVEIA, N. Interações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo. 1993 a 1997. **Rev. Saúde Pública**, v. 38, n. 6, p. 751-757, 2004.

GAIER, Micael Bronzatti. **Aprendendo a Programar em Arduino**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Campus Cuiabá. pag. 1-48, 2011.

GIODA, A.; GIODA, F. R. **A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias**. Departamento de Química – Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), 2006, p.15-23.

GOMES, P. A. M. V. **Utilização de Sensores de Baixo Custo na Medição de Monóxido de Carbono no Ar Ambiente**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2015.

GOUGOULIAS, C.; CLARK, J. M.; SHAW, L. J. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Jan 2014.

GOUVEIA, N. et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. Universidade de São Paulo. 2003; vol12; p. 29 - 40].

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos da Física**. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda (LTC), 8 edição, Vol. 3, pag 147. 2013.

HAMBURG, SP. Et al. Trenberth KE Weigley TML (1997). Common questions about climate change. United Nation Environment Programme, World Meteorology Organisation.

HEUER, R. M.; GROSELL, M. Physiological impacts of elevated carbon dioxide and ocean acidification on fish. **Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.** 307: R1061–R1084. 2014.

HODGKINSON, J.; & TATAM, R. P. **Optical gas sensing: a review**. Measurement Science and Technology, 24(1), 12004. 2013.

HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. **Climate Change 1995: The Science of Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1996.

HOWELL, E. **Earth's Atmosphere: Composition, Climate & Weather. Science & Astronomy.** Space.com. Disponível em: <https://www.space.com/17683-earth-atmosphere.html>. Acesso em: jan. 2019.

HURTADO, D. K.; SOUZA, A. A. A evolução do sistema de injeção de combustível em motores ciclo otto: uma análise crítica desde suas implicações no meio ambiente à regulamentação legal no sistema normativo pátrio. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM.** v.8. 2013.

IARC- Agência Internacional de Pesquisa em Câncer. **Site institucional.** Disponível em: <http://www.iarc.fr/>. Acesso em dez. 2017.

IAP-Instituto Ambiental do Paraná. **Conteúdos** .Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=130>. Acesso em maio 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 1991.** Disponível em: [//biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=782&view=detalhes](http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=782&view=detalhes). Acesso em dez. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas- Cidades. **Site institucional.** 2019. Disponível em: cidades.ibge.gov.br. Acesso em jan. 2019.

IDSO, C. D.; SHERWOOD. B.; BALLING, R.C. Seasonal and diurnal variations of near-surface atmospheric CO₂ concentration within a residential sector of the urban CO₂ dome of Phoenix, AZ, USA. **Atmospheric Environment.** Volume 36, Issue 10, April 2002, Pages 1655-1660.

IDSO, S.B. The long-term response of trees to atmospheric CO₂ enrichment. **Global Change Biology** 5, 493–495, 1999.

ICPS - Instituto da Cidade Pelópidas da Silveira. **Prefeitura do Recife.** 2018. Disponível em: <http://planodemobilidade.recife.pe.gov.br/node/61265>. Acesso em: dez. 2018.

INMETRO- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Site institucional.** Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/>. 2017. Acesso em: jul. de 2018.

IPCS. **International program on chemical safety.** Environmental health criteria 213. Carbon monoxide. Inter-organization programme for the sound management of chemicals. 2.ed. Geneva: WHO, 1999.

ISHIMASU, A.; HAYASHI, M.; LEE, K. S.; KIKKAWA, T.; KITA, J. Physiological effects on fishes in a high-CO₂ world. **J. Geophys. Res.** 110: C09S09, 2005.

JANA B. K. et al. Carbon sequestration rate and aboveground biomass carbon potential of four young species. *Journal of Ecology and Natural Environment* Vol. 1(2), pp. 015-024, May, 2009.

JANATA, J. **Conductometric Sensors.** In Principles of Chemical Sensors, New York, Springer US, 2009.

JERRETT, M. et al. **Long-Term Ozone Exposure and Mortality**. The new england journal of medicine. 2009.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**. Volume 151, Issue 2, January 2008, Pages 362-367.

KANAN, S. M.; EL-KADRI, O. M.; ABU-YOUSEF, I. A.; KANAN, M. C. Semiconducting metal oxide based sensors for selective gas pollutant detection. **Sensors (Basel, Switzerland)**, 9(10), 8158–96. 2009.

KÁSSIO, M. G. L.; IVO, M. R. Sensores Ópticos com Detecção no Infravermelho Próximo e Médio. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. **Quim.Nova**, Vol. 32, No. 6, 1635-1643, 2009.

KATULSK, R. et al. Mobile Monitoring System For Gaseous Air Pollution. **Metrology and Measurement Systems**, vol. XVI, no. 667-682, 2009.

KEUTGEN N.; CHEN K. Responses of citrus leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence, macronutrient and carbohydrate contents to elevated CO₂. *J. Plant Physiol.* 158: 1307–1316. 2001.

KIDA, T.; NISHIYAMAB, A.; YUASAA, M.; SHIMANOEA, K.; YAMAZOE, N. Highly sensitive NO₂ sensors using lamellar-structured WO₃ particles prepared by an acidification method. **Sensors and Actuators B: Chemical**, vol. 135, no. 568-574, 2009.

KIMBALL, B. A. Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observations. **Agronomy Journal** 75, 779–788, 1983.

KNOLL, A. H.; BAMBACH, R. K.; CANFIELD, D. E.; GROTZINGER, J. P. Comparative Earth History and Late Permian Mass Extinction. **Science** 273: 452-457. 1996.

KOBAYASHI, H. et al. Development of a polarization optical particle counter capable of aerosol type classification. **Atmospheric Environment**. Vol. 97, Pages 486-492, November 2014.

KÖPPEN, W. **The Climates of Nort America**. R. Handbuch der Klimatologie, Berlim, 1948.

KOROTCENKOV, G. Gas response control through structural and chemical modifications of metal oxide films: State of the art and approaches. **Sensors and Actuators B**, vol. 107, no. 209–232, 2005.

LACERDA, A.; LEROUX, T.; MORATA, T. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. Pró-Fono Revista de Atualização Científica. **Barueri (SP)**, v. 17, n. 3, p. 403-412, set.-dez. 2005.

LIMA, Y. L., FARIAS, F. F., LIMA, A. M. L., ELISA, M. Poluição Atmosférica e Clima: Refletindo Sobre os Padrões de Qualidade do Ar no Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, V. 2. N° 5 p. 555-564. 2012.

LISBOA, H.; KAWANO, M. **Controle da poluição do ar. Monitoramento de poluentes atmosféricos**. Montreal, Cap IV dezembro. 2007.

LOPES, Paulo Afonso. **Probabilidades e estatísticas**. Rio de Janeiro: Reichmann e Afonso Ed., 2001.

LÓPEZ, J. M. et al. Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid. **Applied Energy**, 86. Pag.610–615, 2009.

MABAHWI, N. A.; LEH, O. L. H.; OMAR, D. Urban Air Quality and Human Health Effects in Selangor, Malaysia. **Social and Behavioral Sciences**. Volume 170, 27, Pages 282-291, January 2015.

MAGALHAES, A. P. R.; PAIVA, S. C.; FERREIRA, L. O. C. et al. A mortalidade de idosos no Recife: quando o morrer revela desigualdades. **Epidemiol. Serv. Saúde**, jun. 2011, vol.20, no.2, p.183-192. ISSN 1679-4974.

MARENCO, R. A. et al. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. Fisiologia e morfologia vegetal. **Rev. Ceres**. vol.61. Viçosa, nov.2014.

MARIO, M. P. J. **Poluição atmosférica como condicionante no processo de ocupação do espaço urbano: Análise na cidade de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

MATTOS, P. S. G.; MADEIRO, F; FERREIRA, T.A.E.; CAVALCANTI, G.D.C. Hybrid intelligent system for air quality forecasting using phase adjustment. **Engineering Applications of Artificial Intelligence: The International Journal of intelligent Real-Time Automation**. vol. 32, p. 185 - 191, Junho de 2014.

MCNEIL, B.; SASSE, T. Future ocean hypercapnia driven by anthropogenic amplification of the natural CO₂ cycle. **Nature** 529: 383-386. 2016.

MILHOR, C. E. **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo de Otto**. Dissertação de mestrado. São Carlos. 2002.

MIRANDA, L.I.B. Organização socioespacial e mobilidade residencial da região metropolitana do Recife, PE. **Cadernos Metrópole**, N. 12, pp. 123-144, 2º sem. 2004.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **PROCONVE: programa de controle de poluição do ar por veículos automotores**. 2013. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Arquivos/PROCONVE_atualizado%20em%2021nov13.pdf. Acesso em: julho 2019.

MMA-Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores**. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/manual%20proconve%20promot.pdf>. Acesso em: maio 2018.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Padrões de Qualidade do Ar**. CONAMA 2018 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar.html>. Acesso em: maio 2019.

MONK, Simon. **Programação Com Arduino: começando com sketches**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MORAWSKA, L.; THOMAS, S.; JAMRISKA, M.; JOHNSON, G. The modality of particle size distributions of environmental aerosols. **Atmospheric Environment**. Vol 33, Issue 27, Pages 4401-4411, November 1999.

MOTA-FILHO, F.O.; PEREIRA, E.C.; LIMA, E.S.; SILVA, N.H.; FIGUEIREDO, R.C.B. Influência de poluentes atmosféricos em Belo Jardim (PE) utilizando *Cladoniaverticillaris* (líquen) como biomonitor. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1072-1076, 2007.

MUELLER D. et al. Ships, ports and particulate air pollution - an analysis of recent studies. **Journal of Occupational Medicine and Toxicology**, volume 6, Article number: 31, 2011.

NIOSH. Occupational health guidelines for carbon monoxide. National institute for occupational safety and health. **Occupational health guidelines for chemical hazards**, v. 1, p. 1-4, 1981.

NHANES. National Health and Nutrition Examination Survey. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.cdc.gov/nchs/nhanes.htm>. Acesso em: jan. 2019.

NOWAK, D. J.; Crane, D. E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. **Environ. Pollut.** 116: 381-389. 2002.

OSHA -Occupational Safety and Health Administration. **Sampling and Analytical Methods: Carbon Dioxide in Workplace Atmospheres**. May 2012.

PANDEY, S. K.; KIM K. H. The Relative Performance of NDIR-based Sensors in the Near Real-time Analysis of CO₂ in Air. **Sensors**, vol. 9, no. 1683–1696, 2007.

PATIL, S. J., PATIL, A. V., DIGHAVKAR, C. G., THAKARE, K. S., BORASE, R. Y., NANDRE, S. J., HIRE, R. R. Semiconductor metal oxide compounds-based gas sensors: A literature review. **Frontiers of Materials Science**, 9(1), 14–37. 2015.

PEARCE, R. et al. Epitaxially grown graphene-based gas sensors for ultra-sensitive NO₂. **Sensors and Actuators**. 82 B, vol. 155, no. 451-455, 2011.

PENNA, P. M. M. A.; REZENDE FILHO, C. B. **Benefícios fiscais a veículos poluidores**. Ciências Ambientais. Setembro de 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2315/178>. Acesso em: 10 ago. 2014.

PENNEY, D. G. **Carbon monoxide toxicity**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000. cap. 18, p. 394-420.

PERSILY A. K. Evaluating building IAQ and ventilation with carbon dioxide. **ASHRAE Transactions** 103(2):193–204. 1997.

PING ZHANG; BO HONG; LIANG HE; FEI CHENG; PENG ZHAO; CAILIANG WEI; YUNHUI LIU. Temporal and Spatial Simulation of Atmospheric Pollutant PM_{2.5} Changes and Risk Assessment of Population Exposure to Pollution Using Optimization Algorithms of the Back Propagation-Artificial Neural Network Model and GIS. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 12, n. 10, p. 12171 - 12195, 2015.

P. N. Ugwu. “**Effects of heavy metals on the air pollution tolerance indices (APTI) of five medicinal plants growing within quarry site in Ishiagu, Ebonyi State, Nigeria**”. MSc thesis. Dept. of Chemistry, University of Nigeria, Nsukka, 2014.

PNUMA-Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Perspectivas do Meio Ambiente Mundial**. GEO-3.cap.2 – Atmosfera, pp. 228-259, fevereiro, 2002.

PORTNER, H. O.; LANGENBUCH, M.; REIPSCHLAGER, A. Biological Impact of Elevated Ocean CO₂ Concentrations: Lessons from Animal Physiology and Earth History. **Journal of Oceanography** 60:705- 718. 2004.

PRAKASH, JAI. et al. On-Road Emissions of CO, CO₂ and Nox from Four-Wheeler and Emission Estimates for Delhi. **Journal of Environmental Sciences**. Volume 53, Pages 39-47, March 2017.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Parque da Jaqueira**. Disponível em: <http://parquedajaqueira.recife.pe.gov.br/index.html#findUs-link>. Acesso em jan 2019.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados** 16 (44), 2002.

ROMERO, V.; AKPINAR, P. Stones Kidney: A Global Picture of Prevalence, Incidence, and Associated Risk Factors. **Reviews in Urology** 12: p.86–96, 2010.

RUSSO, P. R. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. **Revista de Ciências Humanas**, v.10,n.1, p.78-93, jan./jun. 2010.

SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L.A.A. e BRAGA, A. **Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana**. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo, SP, 1995.

SANTOS, T. O. **Biomonitoração da qualidade do ar em decorrência da queima da cana-de-açúcar na reserva ecológica de Gurjaú**. Dissertação (Mestrado) – UFPE. 2011.

SANTOS, T. O. **Biomonitoração da qualidade do ar na região metropolitana do recife**. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Centro Regional De Ciências Nucleares Do Nordeste. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares tese doutorado. 2016.

SATISH, U. et al. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. **Environmental Health Perspectives**. Vol. 120, No. 12, december 2012.

SAYEGH, Arwa; MUNIR, Said; HABEEBULLAH, Turki M. Comparing the Performance of Statistical Models for Predicting PM10 Concentrations. **International journal of Aerosol and Air Quality Research (AAQR)**, n. 14, p. 653-665, 2014.

SCHAEFER K. E.; NIEMOLLER, H.; MESSIER, A.; HEYDER, E. Spencer J. 1971. **Chronic CO₂ Toxicity: Species Difference in Physiological and Histopathological Effects**. Report No 656, pp 1_26, US Navy Dept, Bureau of Medicine and Surgery, Naval Submarine Medical Center, Submarine Medical Research Laboratory, Groton, CT.

SCHLATTER, T. W. **Atmospheric Composition and Vertical Structure**. Earth System Research Laboratory National Oceanic and Atmospheric Administration Boulder, CO, USA, jul 2009.

SILVA, A. F.; VIEIRA, C. A. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. **Ciência e Sustentabilidade**. Juazeiro do Norte, v. 3, n. 1, p. 166-189, jun 2017.

SILVA, M. A. L. **Perspectivas para Redução das Emissões de Óxidos de Nitrogênio nos Processos de Combustão no Polo Petroquímico de Camaçari** Dissertação Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador 2008.

SILVA, R.A. **Cladonia verticillaris (líquen) como biomonitor padrão da qualidade do ar no distrito de Jaboatão – PE**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.

SOUZA, W. M. **Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 121 f., Campina Grande-PB, 2011.

SOUZA, W.M., AZEVEDO, P. V. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: Mudanças climáticas ou variabilidade? **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.6, p.462 - 472, 2009.

SNYDER, E. G. et al. The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring. **Environmental Science and Technology**, vol. 47, no. 11369-11377, 2013.

STEHFEST, E. et al. RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. **Climatic Change**, 109:95–116, 2011.

STETTER, J. R.; LI, J. Amperometric Gas Sensors - A Review. **Chemical Reviews**, vol. 108, no. 352-366, 2008.

SUAPE. **Complexo Industrial Portuário Governado por Eraldo Gueiros**. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/news/matLer.php?id=246>. Acesso em: jan 2017.

TACO, G. B. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas**. Universidade de Brasília, agosto de 2006.

TANGA, X.; MADRONICH, S.; WALLINGTON, T.; CALAMARID, D. Changes in tropospheric composition and air quality. **Journal of Photochemistry and Photobiology, Biology**, 1998.

TANGESTANI, V.; MEGHDADI A. H. Experimental evaluation of the performance and exhaust emissions of porous medium diesel and Otto engines. **International Journal of Environmental Science and Technology**, jul. 2019.

TEIXEIRA, E. C. et al. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. **Quim. Nova**, Vol. 31, No. 2, 244-248, 2008.

THONG, H. Y.; MAIBACH, H. I. Global warming and its dermatologic implications. **International Journal of Dermatology**, 47, 522–524, 2008.

VARON, J.; MARIK, P.E.; FROMM, R.E.; GUELER, A. Carbon monoxide poisoning: a review for clinicians. **The Journal of Emergency Medicine**, v. 17, n. 1, p. 87-93, Elsevier, USA, 1999.

VELD, K. V.; PLANTINGA, A. Carbon sequestration or abatement? The effect of rising carbon prices on the optimal portfolio of greenhouse gas mitigation strategies. *J. Environ. Econ. Manage.* pp. 59–81. 2005.

WANG, C.; YIN, L.; ZHANG, L.; XIANG, D.; GAO, R. Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors. **Sensors**, vol. 10, no. 2088-2106, 2010.

WHO. World Health Organisation. Sulfur oxides and suspended particulate matter. **Environmental Health Criteria**, 8, Genève, 1979.

YAMAZOE, N.; SAKAI, G.; SHIMANO, K. Oxide Semiconductor Gas Sensors. **Catalysis Surveys from Asia**. 7(1), 63–75. 2003.

YUNUSA, Z. HAMIDON, M. N., KAISER, A., & AWANG, Z. Gas sensors: A review. **Sensors and Transducers**, 168(4), 61–75. 2014.

ANEXO A – DATASHEET DO SENSOR MQ-9

MQ-9 Semiconductor Sensor for CO/Combustible Gas

Sensitive material of MQ-9 gas sensor is SnO_2 , which with lower conductivity in clean air. It make detection by method of cycle high and low temperature, and detect CO when low temperature (heated by 1.5V). The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. When high temperature (heated by 5.0V), it detects Methane, Propane etc combustible gas and cleans the other gases adsorbed under low temperature. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration. MQ-9 gas sensor has high sensitivity to Carbon Monoxide, Methane and LPG. The sensor could be used to detect different gases contains CO and combustible gases, it is with low cost and suitable for different application.

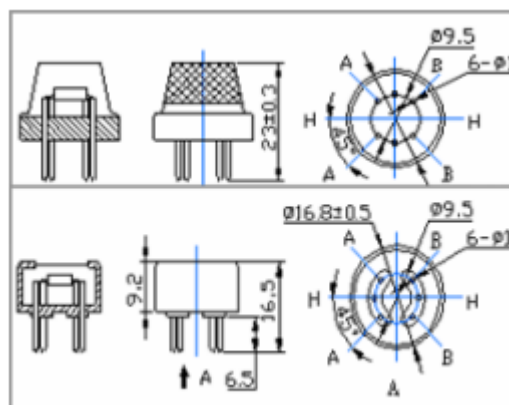
Character

- * Good sensitivity to CO/Combustible gas
- * High sensitivity to Methane, Propane and CO
- * Long life and low cost
- * Simple drive circuit

Application

- * Domestic gas leakage detector
- * Industrial gas detector
- * Portable gas detector

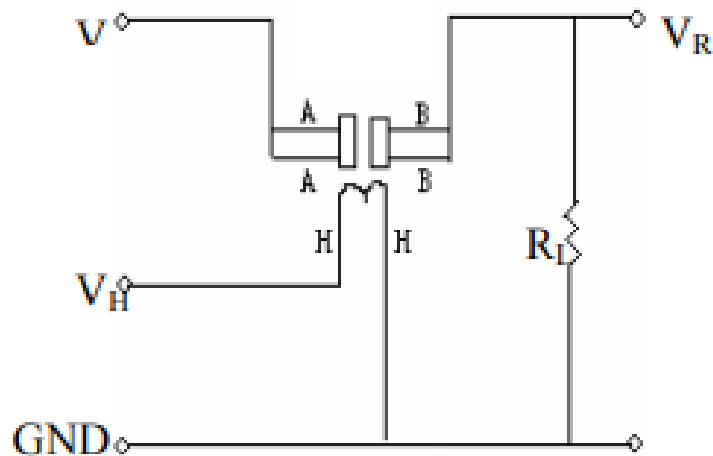
Configuration



Technical Data

Model No.			MQ-9
Sensor Type			Semiconductor
Standard Encapsulation			Bakelite
Detection Gas			CO and combustible gas
Concentration			10-1000ppm CO 100-10000ppm combustible gas
Circuit	Loop Voltage	V_c	$\leq 10V$ DC
	Heater Voltage	V_H	5.0V $\pm$ 0.2V AC or DC (High) 1.5V $\pm$ 0.1V AC or DC (Low)
	Heater Time	T_L	60 $\pm$ 1S (High) 90 $\pm$ 1S (Low)
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	31 Ω $\pm$ 3 Ω (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 350mW$
	Sensing Resistance	R_s	2K Ω -20K Ω (in 100ppm CO)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(100\text{ppm CO}) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6(R_{300\text{ppm}}/R_{100\text{ppm CO}})$
Condition	Tem. Humidity		20 $^{\circ}\text{C}$ $\pm$ 2 $^{\circ}\text{C}$; 65% $\pm$ 5%RH
	Standard test circuit		V_c : 5.0V $\pm$ 0.1V; V_H (High) : 5.0V $\pm$ 0.1V; V_H (Low) : 1.5V $\pm$ 0.1V
	Preheat time		Over 48 hours

Basic test loop



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor needs to be put 2 voltage, heater voltage (VH) and test voltage (VC) . VH used to supply certified working temperature to the sensor, while VC used to detect voltage (VRL) on load resistance (RL) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, Vc need DC power. VC and VH could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better.

Performance, suitable RL value is needed: Power of Sensitivity body (Ps): $P_s = V_c^2 \times R_s / (R_s + R_L)^2$.

Resistance of sensor (Rs): $R_s = (V_c / V_{RL} - 1) \times R_L$.

Sensitivity Characteristics (Fig 1)

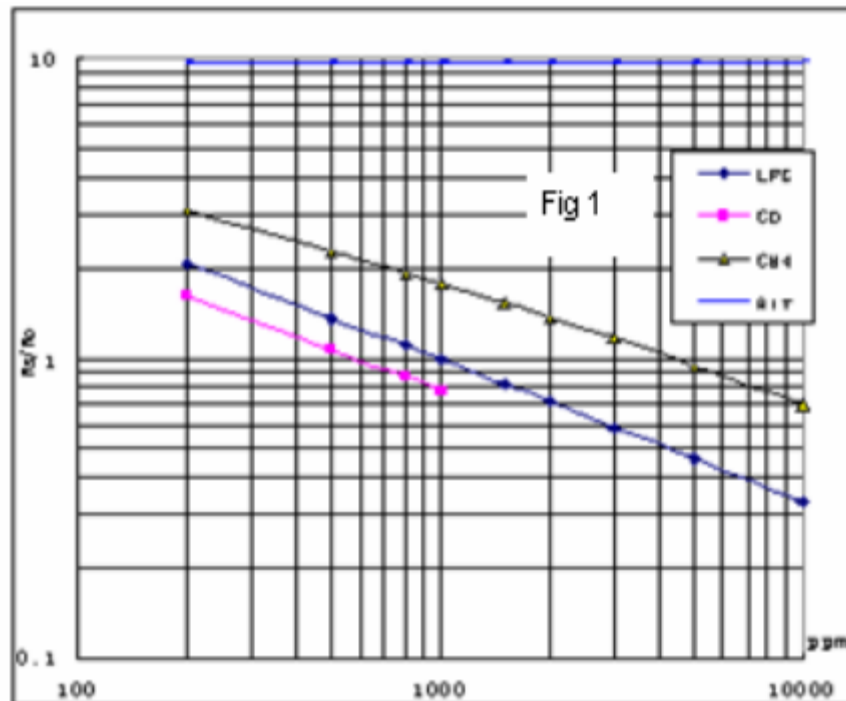


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-9, ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_0), abscissa is concentration of gases. R_s means resistance in different gases R_0 means resistance of in 1000ppm LPG. All test are under standard test conditions.

Influence of Temperature/Humidity (Fig 2)

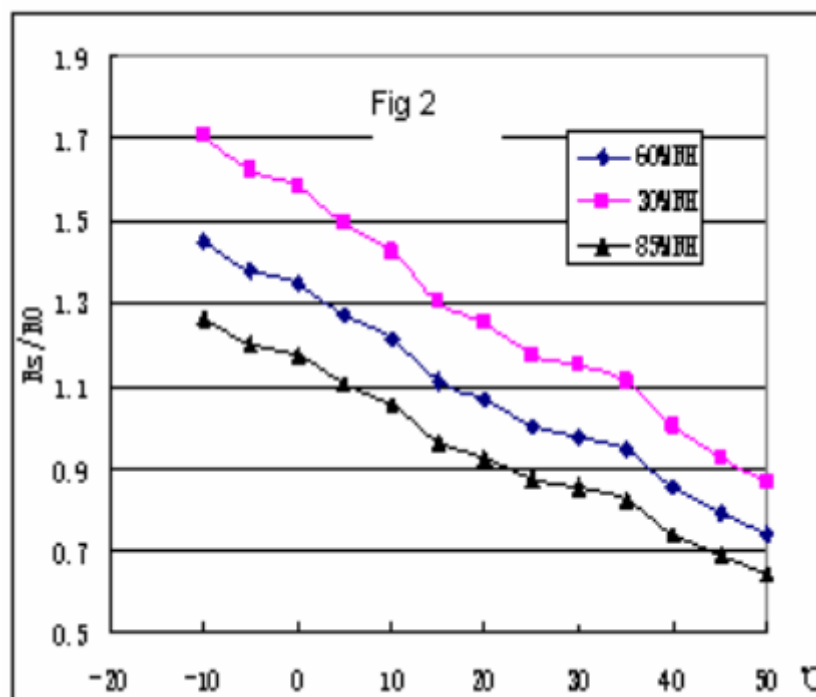
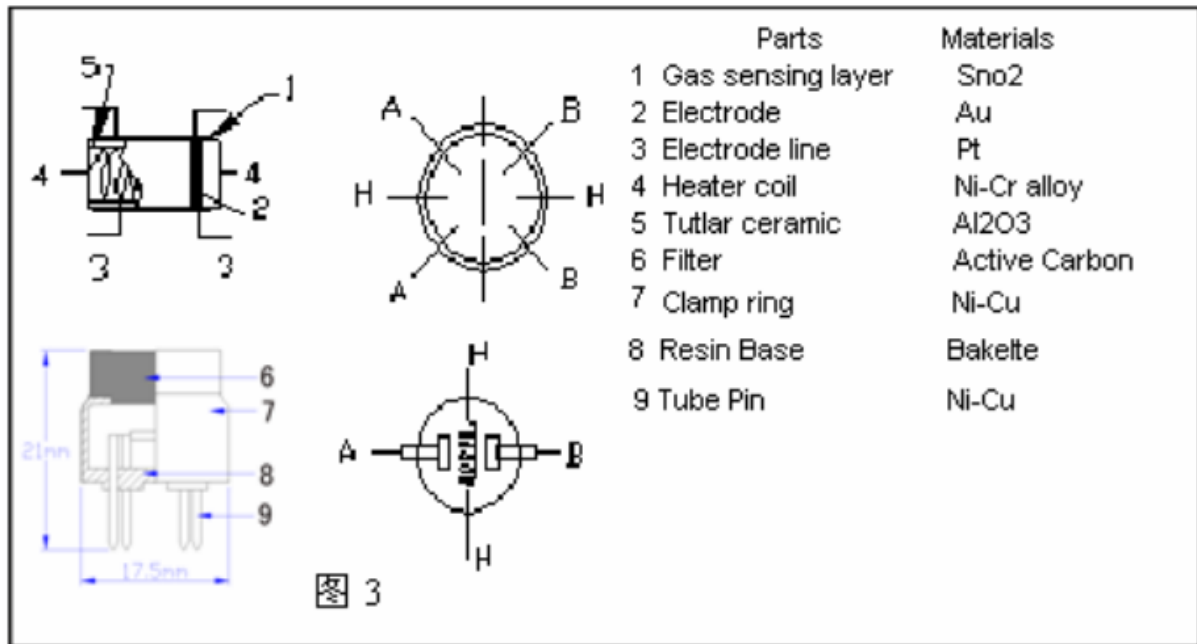


Fig.2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), R_s means resistance of sensor in 1000ppm Propane under different tem. and humidity. sensor R_o means resistance of the sensor in environment of 1000ppm Propane, 20°C/65%RH.

Structure and configuration



Structure and configuration of MQ-9 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) 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 6 pins, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Notification

1 Following condition must be prohibited

1.1 Exposed to organic silicon steam Organic silicon steam cause sensors invalid, sensors must be avoid exposing to silicon bond, fixture, silicon latex, putty or plastic contain silicon environment

1.2 High Corrosive gas If the sensors exposed to high concentration corrosive gas (such as H_2S , SOX , Cl_2 , HCl etc.), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it causes sincere sensitivity attenuation.

1.3 Alkali, Alkali metals salt, halogen pollution

The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed polluted by alkali metals salt especially brine, or be exposed to halogen such as fluorine.

1.4 Touch water

Sensitivity of the sensors will be reduced when splattered or dipped in water.

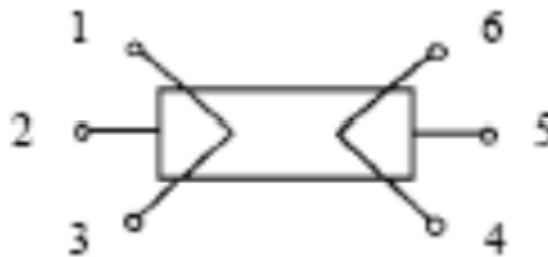
1.5 Freezing

Do avoid icing on sensor's surface, otherwise sensor would lose sensitivity.

1.6 Applied voltage higher

Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, otherwise it causes down-line or heater damaged, and bring on sensors' sensitivity characteristic changed badly.

1.7 Voltage on wrong pins



For 6 pins sensor, if apply voltage on 1、3 pins or 4、6 pins, it will make lead broken, and without signal when apply on 2、4 pins.

2 Following conditions must be avoided

2.1 Water Condensation

Indoor conditions, slight water condensation will effect sensors performance lightly. However, if water

condensation on sensors surface and keep a certain period, sensor's sensitivity will be decreased.

2.2 Used in high gas concentration

No matter the sensor is electrified or not, if long time placed in high gas concentration, it will affect sensors characteristic.

2.3 Long time storage

The sensors resistance produces reversible drift if it's stored for long time without electrify, this drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airproof without silicon gel bag with clean air.

For the sensors with long time storage but no electrify, they need long aging time for stability before using.

2.4 Long time exposed to adverse environment

No matter the sensors electrified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc., it will effect the sensors performance badly.

2.5 Vibration

Continual vibration will result in sensors down-lead response then repute. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead this vibration.

2.6 Concussion

If sensors meet strong concussion, it may lead its lead wire disconnected.

2.7 Usage

For sensor, handmade welding is optimal way. If use wave crest welding should meet the following conditions:

2.7.1 Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine

2.7.2 Speed: 1-2 Meter/ Minute

2.7.3 Warm-up temperature : 100 ± 20

2.7.4 Welding temperature : 250 ± 10

2.7.5 1 time pass wave crest welding machine

If disobey the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

ANEXO B – DATASHEET DO SENSOR MQ-135

TECHNICAL DATA

MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope.

Fast response and High sensitivity.

Stable and long life.

Simple drive circuit.

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

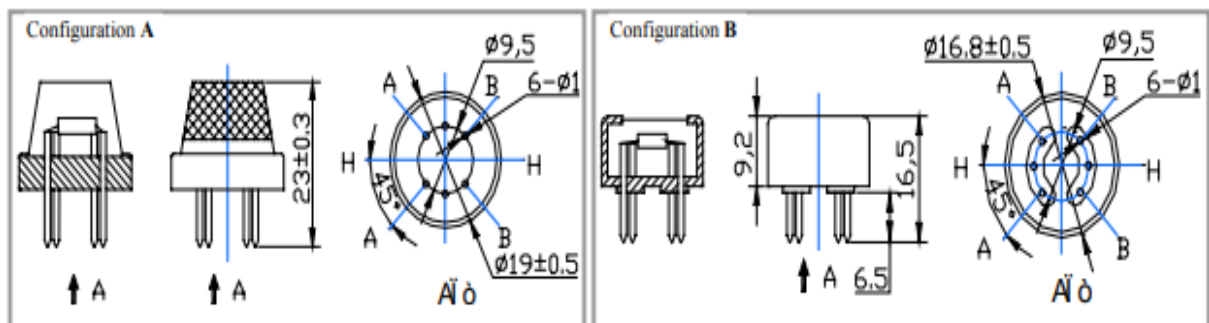
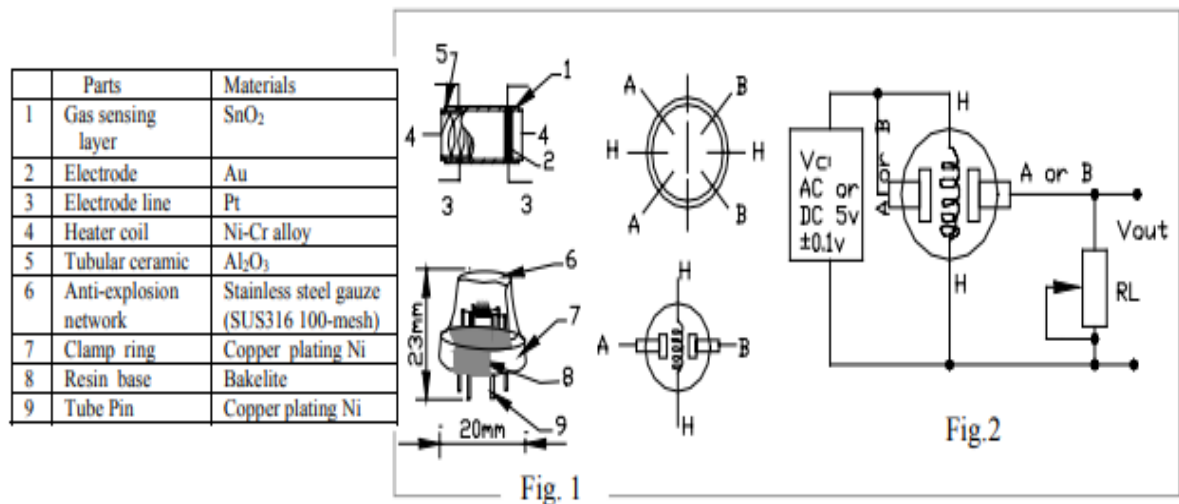
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10 -45	
T _{as}	Storage Tem	-20 -70	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Ramark 2
Rs	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20 ±2 Vc:5V±0.1 Humidity: 65%±5% Vh: 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) 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-135 have 6 pins ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current. Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2.

E. Sensitivity characteristic curve

Fig 3

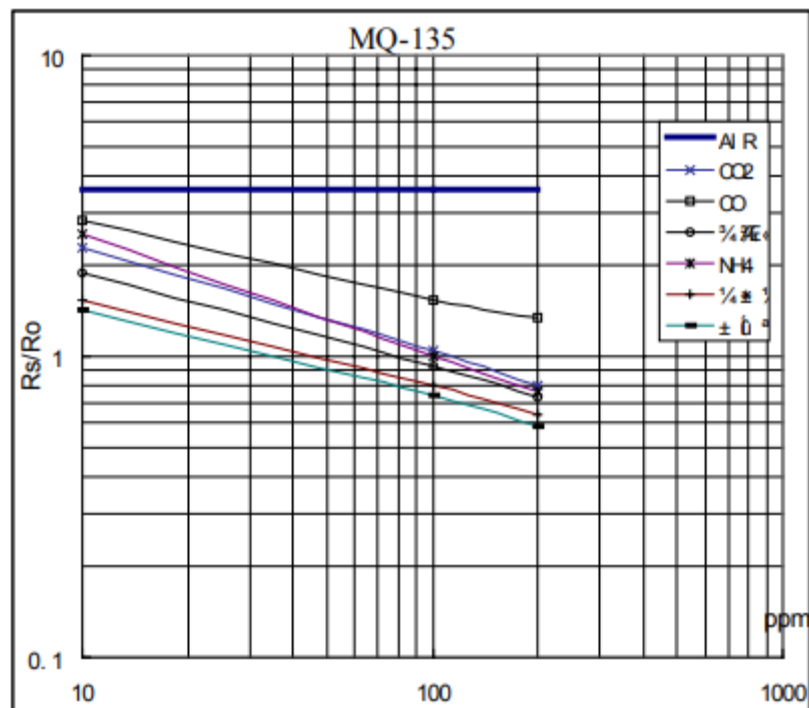


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20

Humidity: 65%

O₂ concentration 21%

RL=20kΩ

R₀: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in the clean air.

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

Fig 4

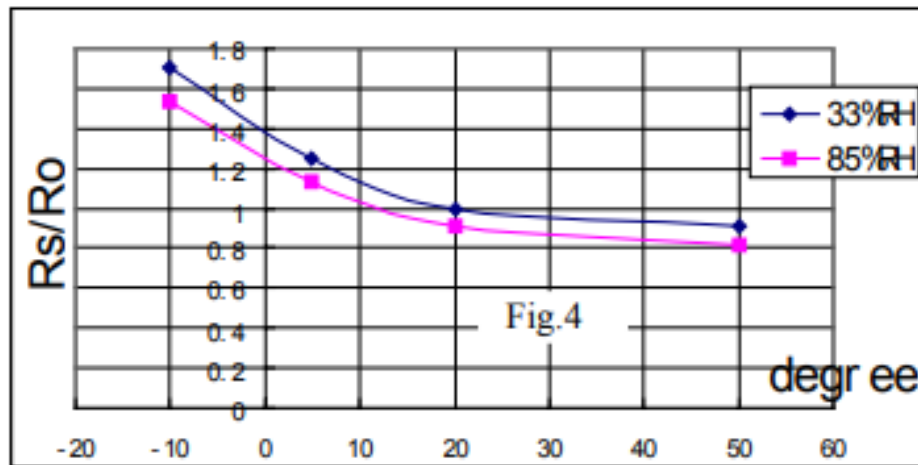


Fig.4 shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 100ppm of NH₃ in air at 33%RH and 20 degree.

Rs: sensor resistance at 100ppm of NH₃ at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is different to various kinds and various concentration gases. So, when using these components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (RL) about 20 K Ω (10K Ω to 47 K Ω).

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

