



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS–ICAT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA–PPGMET

RELAÇÃO ENTRE OS ÓXIDOS NITROGENADOS NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) E A EMISSÃO
VEICULAR NA CIDADE DE MACEIÓ EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS

CÁSSIA MONALISA DOS SANTOS SILVA

Maceió/AL
Agosto, 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – ICAT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA-PPGMET

**RELAÇÃO ENTRE OS ÓXIDOS NITROGENADOS NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) E A EMISSÃO
VEICULAR NA CIDADE DE MACEIÓ EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas,
para obtenção do título de Mestre em Meteorologia. Área de
Concentração: Processos de Superfície Terrestre

Maceió/AL
Agosto, 2012

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S586r Silva, Cássia Monalisa dos Santos.
Relação entre os óxidos nitrogenados NO_x (NO , NO_2) e a emissão veicular na cidade de Maceió em função de variáveis meteorológicas / Cássia Monalisa dos Santos Silva. – 2012.
86f. : il., graf.

Orientador: Manoel Ferreira.
Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 83-86.

1. Ar – Poluição – Maceió (AL). 2. Óxidos nitrogenados. 3. Condições Atmosféricas. 4. Veículos pesados (Meteorologia). I. Título

CDU: 551.588.74 (813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO


N.º de ordem: MET-UFAL-MS-101.

*"RELAÇÃO ENTRE OS ÓXIDOS NITROGENADOS NO_x (NO+NO₂) E A EMISSÃO
VEICULAR NA CIDADE DE MACEIÓ EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS"*

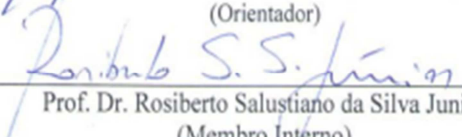
Cássia Monalisa dos Santos Silva

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

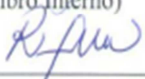
Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



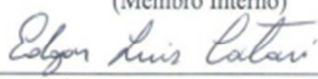
Prof. Dr. Manoel Ferreira do Nascimento Filho
(Orientador)



Prof. Dr. Rosiberto Salustiano da Silva Junior
(Membro Interno)



Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim
(Membro Interno)



Prof. Dr. Edgar Luis Catari Ramones
(Membro Externo - IQB)

Setembro/2012

Aos meus pais Cícero Alves da Silva e Marli dos Santos Lima pela força e críticas construtivas durante todo esse processo. Ao meu querido e maravilhoso eterno Prof. Dr. Manoel Toledo (IN MEMORIAN) pelo enorme apoio e dedicação incondicional na realização dessa pesquisa e em todos os outros momentos presentes.

DEDICO

As pessoas que atualmente, em minha vida são muito importantes, pelo carinho, palavra de sabedoria, amor, amizade e força, meu companheiro em todos os momentos Antônio Marcos Lorangeiras Lima, aos meus queridos amigos que considero como irmãos Maryana Cavalcante e Elpídio Montelares, aos meus amigos de trabalho Paulo Moura, Adriana Azevedo e a minha querida e eterna comadre Heline Pereira Alves. Amo a cada um de vocês!

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento inicial é a Deus, por todas as fases ocorridas em minha vida, momentos alegres e tristes, onde sei que não foram fáceis, mas com toda sua força, pude enfrentar cada situação com a certeza de que o senhor jamais iria me desamparar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Manoel Ferreira, por conceder o Laboratório de Poluição Atmosférica/LPA para que fosse desenvolvida esta pesquisa e pelo apoio dado na orientação deste trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Rosiberto Salustiano, meu muitíssimo obrigado! Por tudo! Pelo apoio, discussões e seriedade na realização deste trabalho, pela amizade e principalmente pelas críticas construtivas.

Aos Professores Dr. Ricardo Amorim, Luciene Melo e Maríngolo Lemes pela força, apoio, amizade e boas conversas durante todo o curso de mestrado.

Ao prof. Dr. Baldicero Molion pela força e prazer incansável em ajudar e discutir idéias construtivas em nome da Meteorologia.

A prof. Dr. Karla Longo, Jean Ometto e Judith Hoelzamann do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE/SJC pelo apoio e boas ideias dadas enquanto estive no INPE e até mesmo após meu retorno a cidade de Maceió.

Aos meus amigos que apoiaram nesta pesquisa e em outros momentos da minha vida, Giuliano Carlos, Juliete Baraúna, João Sousa (Joy), Mikael Rodrigues, José Cley, Erika Bispo, Márcia Silva, Antônio Medeiros, Edizânio Vieira, André Deodato e Davi Moura. Serei eternamente grata!!!

Ao Marlon Ivan, pelo amor e todo o carinho que construímos nos momentos finais dessa nova etapa de nossas vidas e que se perpetue a cada dia.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), por ter concedido a bolsa de estudos.

A todos os funcionários do Instituto de Ciências Atmosféricas/ ICAT pelo apoio principalmente nas horas de grandes necessidades.

Para aqueles que contribuíram na realização deste trabalho e não foram citados, ficam minhas desculpas e meus agradecimentos.

E finalmente a todos aqueles que de forma indireta contribuíram para a finalização do curso de mestrado em Meteorologia.

RESUMO

SILVA, Cássia Monalisa dos Santos. Relação entre os óxidos nitrogenados NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) e a emissão veicular na cidade de Maceió em função de variáveis meteorológicas. Orientador: Manoel Ferreira Filho. Co-orientador: Rosiberto Salustiano da Silva Júnior. Maceió – AL: UFAL, 2012. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

As medições dos óxidos nitrogenados (NO_x) foram realizadas em um único ponto da cidade de Maceió-AL, localizado no bairro do Farol em proximidades da Avenida Fernandes Lima, via de grande acesso a diversos bairros da cidade. As coordenadas geográficas da área de estudo se encontram nos pontos $9^{\circ}36'52''$ de latitude Sul e $35^{\circ}44'28''$ longitude Oeste, e está a cerca de 6,5 km do mar. O levantamento dos dados foi de 20/04 a 20/05 de 2011, período característico na região como sendo estação de transição da estação de verão para a estação de inverno.

Os dados foram coletados pelo analisador do NO_x ($\text{NO}+\text{NO}_2$) API modelo 200A através do método de quimiluminescência. Para as condições atmosféricas foi utilizado uma estação meteorológica da WeatherLink Pro 2 da Davis Instruments (EUA) ambos aparelhos realizaram medições a cada 10 minutos e o modelo atmosférico (WRF) que realizou simulações meteorológicas.

De acordo com a análise realizada as concentrações se mostraram sensíveis as condições atmosféricas, tendo como média máxima de concentração do NO 17,5 ppbv e mínima de 4,8 ppbv, enquanto que o de NO_2 apresentou uma média máxima de 10,1 ppbv e mínima de 10 ppbv. O comportamento das concentrações variaram da seguinte forma, no período noturno quando a umidade do ar estava mais alta, as concentrações apresentaram valores mais altos, devido a diminuição da camada limite planetária (CLP), aumento da estabilidade atmosférica e ventos mais fracos, além das emissões de veículos leves (gasolina e álcool) e principalmente veículos pesados (movidos a diesel) que ocorrem nesse horário, principalmente no intervalo entre 17-18 horas. No período diurno apenas nos intervalos entre das 06:00 - 08:00 horas apresentou aumento, isso devido ao expressivo fluxo de veículos pesados no local, mas em geral as concentrações eram mais baixas, pois a radiação solar contribuiu para a diminuição significativa das concentrações desses óxidos, propiciando a fotólise do NO_2 , dando origem a formação de outros poluentes secundários como o ozônio, poluente significativamente nocivo a saúde humana.

Palavras Chaves: Óxidos nitrogenados; Condições atmosféricas; Veículos pesados.

ABSTRACT

SILVA, Cássia Monalisa dos Santos. Relationship between nitrogen oxides and vehicular emissions in the city of terms of meteorological variables. Adviser: Manoel Ferreira Filho. Co-Adviser: Rosiberto Salustiano da Silva Júnior. Maceió – AL: UFAL, 2012. Dissertation (Master in Meteorology).

Measurements of nitrogen oxides (NO_x) were performed at a single point of the city of Maceió-AL, located in the neighborhood of Farol near to of Lima Fernandes Avenue, via access to a variety of city neighborhoods. The geographic coordinates of the study were are in 9 ° 36'52 "S and 35 ° 44'28" W and is about 6.5 km from the sea. The survey data was from 20/04 to 20/05 2011, characteristic period in the region as the transition season of the summer season to the winter season.

Data were collected by analyzer NO_x (NO + NO₂) API model 200A by the method of chemiluminescence. For the weather conditions we used a weather station 2 Pro WeatherLink Davis Instruments (USA) both devices carried out measurements each 10 minutes and the atmospheric model (WRF) which performed weather simulations.

According to the analysis the concentrations were sensitive to weather conditions, with the mean maximum concentration NO of 17,5 ppbv and minima of 4,8 ppbv, where as that of NO₂ showed a average of up to 10,1 ppbv and a minimum of 10 ppbv. The behavior of the concentrations ranged as follows, at night when the humidity was higher, the concentrations were higher, due to reduction of Planetary Boundary Layer (PBL), increasing winds speed and atmospheric stability weaker than those emissions of light vehicles (gasoline and alcohol) and particularly heavy vehicles (diesel) that occur at this time, especially in the range of 17-18 hours. During daytime only in the intervals between 06:00 to 08:00 hours had increased, that due to the great flow of heavy vehicles on the spot, but overall concentrations were lower, because the solar radiation contributed to the significant decrease concentrations of these oxides, through the photolysis of NO₂, leading to formation of other secondary pollutants like ozone, a pollutant harmful to human health significantly.

Keywords: Nitrogen oxides, atmospheric conditions, heavy vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emissão relativa ao tipo de fonte. Fonte: CETESB, 2008	34
Figura 2 – Simulação do ciclo médio horário da direção do vento para o Abril/Maio de 2011, Maceió/AL, Fonte Autor, 2012	40
Figura 3 – Níveis de concentração de NO, NO ₂ e O ₃ no período de Outono e Inverno. Fonte: GALICHO e FORNARO 42	
Figura 4 - Simulação do ciclo médio horário da umidade relativa do ar para o Abril/Maio de 2011, Maceió/AL, Fonte Autor, 2012	43
Figura 5 – Localização da área de estudo na região metropolitana de Maceió/AL, 2011. Software (terraview) Fonte: Autor, 2012	44
Figura 6 - Descrição da área de estudo, com ênfase no ponto de medição (Sede do IBAMA), via de tráfego (Avenida Fernandes Lima), e a direção predominante do vento durante o período de estudo (flechas amarelas). Fonte: Google Earth, 2009	46
Figura 7 – Estação meteorológica na área de estudo, IBAMA, 201	47
Figura 8 – Parte interna do analisador de NO _x . Fonte: Manual do analisador de NO _x , 2006	49
Figura 9 – Analisador NITROGEN OXIDE 200A em funcionamento na área de estudo, IBAMA, 2011	50
Figura 10 – Laboratório móvel de poluição do Instituto de Ciências Atmosféricas em funcionamento na área de estudo	50
Figura 11 - Média horária das concentrações de NO com desvios padrão para cada hora do período de Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	51
Figura 12 – Simulação do ciclo médio horário da velocidade do vento para o período de Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	56
Figura 13 – Média diurna da direção do vento simulada durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	57
Figura 14 – Média noturna da direção do vento simulada durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	57
Figura 15 – Média da concentração de NO em função da média simulada da umidade relativa do ar de Abri/Maio de 2011, Maceió-AL	58

Figura 16 – Ciclo médio do NO e radiação solar no período de Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	60
Figura 17 – Ciclo médio horário de NO ₂ no período Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	62
Figura 18 – Ciclo médio horário das concentrações de NO ₂ e média da velocidade do vento durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	63
Figura 19 – Ciclo médio horário das concentrações de NO ₂ e média da umidade relativa do ar durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	64
Figura 20 – Ciclo médio horário das concentrações de NO ₂ e média da radiação solar durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió/AL	65
Figura 21 - Ciclo médio horário do monóxido de nitrogênio (NO), com os respectivos desvios padrão no dia 05 de Maio de 2011, Maceió/AL	66
Figura 22 – Média horária do fluxo de veículos pesados na área de estudo durante a semana. Maceió-AL, Maio de 2011	68
Figura 23 – Média horária do fluxo de veículos leves na área de estudo durante a semana. Maceió-AL, Maio de 2011	69
Figura 24 – Média horária das concentrações de NO e umidade relativa do ar no dia 05 de Maio de 2011, Maceió/AL	70
Figura 25 – Média horária das concentrações de NO e velocidade do vento para o dia 05 de Maio de 2011 Maceió/AL	71
Figura 26 – Média horária das concentrações de NO ₂ e seus respectivos desvios padrão para o dia 05 de Maio de 2011. Maceió/AL	72
Figura 27 – Média horária das concentrações de NO ₂ e radiação solar em (KJ/m ²) para o dia 05 de Maio de 2011, Maceió/ AL	73
Figura 28 - Ciclo médio horário do monóxido de nitrogênio (NO), com os respectivos desvios padrão no dia 08 de Maio de 2011, Maceió/AL	74
Figura 29 – Média horária do fluxo de veículos pesados na área de estudo durante a semana, Maceió/AL	75

Figura 30 – Média horária do fluxo de veículos leves na área de estudo durante a semana, Maceió/AL	76
Figura 31 – Média horária das Concentrações de NO e Umidade relativa do ar no dia 08 de Maio de 2011, Maceió/AL	77
Figura 32 – Média horária das concentrações de NO e velocidade do vento para o dia 08 de Maio de 2011, Maceió/AL	78
Figura 33 – Média horária das concentrações de NO ₂ e seus respectivos desvios padrão para o dia 08 de Maio de 201 Maceió/AL	79
Figura 34 - Média horária das concentrações de NO ₂ e radiação solar em (KJ/m ²) para o dia 08 de Maio de 2011, Maceió/AL	80
Figura 35 - Média horária das concentrações de NO ₂ e umidade relativa do ar no dia 08 de Maio de 2011, Maceió/AL.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns gases constituintes da atmosfera	22
Tabela 2 – Demonstração dos fatores médios das emissões dos anos (1980 a 2010) para a cidade de São Paulo	25
Tabela 3 – Demonstração dos fatores médios das emissões dos anos (2005 a 2010) para a cidade de São Paulo	26
Tabela 4 – Concentração de SO ₂ e seus efeitos nos seres humanos	28
Tabela 5 – Concentração de NO e tempo de oxidação para NO ₂	30
Tabela 6 – Concentração de NO ₂ e seus efeitos	31
Tabela 7 – Concentração de CO e seus efeitos ³²	
Tabela 8 – Fatores de emissão dos motores de veículos pesados do ciclo a diesel	35
Tabela 9- Limites de emissão para motocicletas e veículos similares novos	35
Tabela 10 – Padrões para todo o território Brasileiro	36
Tabela 11 – Episódios agudos de poluição do ar para todo o território Brasileiro	37
Tabela 12 – Qualificações do ar para todo o território Brasileiro	38
Tabela 13 – Parâmetros de qualificações do ar para todo o território Brasileiro	38
Tabela 14– Características da estação meteorológica	47
Tabela 15 – Características do Analisador de NO _x , modelo 200A-API	48
Tabela 16 – Fluxo veicular analisado em um dia de Quinta-feira, 2011 (durante a semana)	52
Tabela 17 – Fluxo veicular analisado em um dia de Domingo, 2011 (final de semana)	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

NO_x = Óxidos de nitrogênio

NO = Monóxido de nitrogênio

NO_2 = Dióxido de nitrogênio

NH_3 = Amônia

m/s = Metro por segundo

UR = Umidade relativa

N_2O_5 = Pentóxido de dinitrogênio

OH = Hidroxila

O^* = Oxigênio atômico

O_3 = Ozônio

O_2 = Oxigênio

HC = Hidrocarbonetos

CO = Monóxido de carbono

SO_2 = Dióxido de enxofre

n = Quantidade de dados

μm = micrômetro

KJ/m^2 = Kilojoule por metro quadrado

ppm = Parte por milhão

pptv = Parte por trilhão

ppbv = Parte por bilhão por volume

hv = Radiação Ultravioleta

CONAMA = Conselho nacional do meio ambiente

CONPET = Programa nacional da racionalização do uso dos derivados de petróleo e gás natural

WRF = Weather Research and Forecasting

$\mu\text{g/m}^3$ = Micrograma por metro cúbico

IMA = Instituto do meio ambiente

PTs = Partículas Totais em Suspensão

FMC = Fumaça

SMTT = Secretaria Municipal de Transporte e Trânsito

IBAMA = Instituto brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis.

CELMM = Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba

CPL = Camada Limite Planetária

CLA = Camada Limite Atmosférica

RMSP = Região Metropolitana de São Paulo

MP = Material Particulado

OMS = Organização Mundial da Saúde

EPA = Environmental Protection Agency

UEA = União Europeia

PROCONVE = Programa de controle de emissões veiculares

PRO-ÁLCOOL = Programa Nacional do Álcool

SSE = Sul-sudeste

E = Leste

S = Sul

W= Oeste

ESE = Leste-sudeste

NCAR = National Center for atmospheric research

mb = milibares

MP = Material particulado

PBL = Planetary Boundary Layer

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Definição de poluição atmosférica	22
2.1.1 Cenário da poluição no mundo.....	23
2.1.2 Cenário da poluição no Brasil	24
2.1.3 Cenário da poluição em Alagoas	27
2.2 Principais poluentes atmosféricos	27
a) Dióxido de enxofre (SO ₂)	27
b) Óxido de Nitrogenados (NO _x).....	28
c) Monóxido de Carbono (CO).....	31
2.3 Principais fontes de emissão.....	32
2.3.1 Emissão veicular.....	33
2.4 Legislação.....	36
2.4.1 Resolução do CONAMA.....	36
2.5 Principais variáveis meteorológicas para o estudo das concentrações do NO _x	39
2.5.1 Velocidade e direção do vento.....	39
2.5.2 Radiação solar.....	40
2.5.3 - Umidade relativa do ar (UR).....	42
3. METODOLOGIA.....	44
3.1 Localização e descrição da área experimental.....	44
3.2 Climatologia da região de estudo	45
3.3 Instrumentos Utilizados.....	47
3.4 Tratamentos dos dados com o WRF.....	50
3.5. Análise estatística	51
4. RESULTADO E DISCUSSÕES	54

4.1	Concentrações médias de NO e NO ₂	54
4.2	Ciclo médio horário das concentrações de NO	54
4.2.1	Relação entre as variáveis meteorológicas e concentrações de NO.....	55
	□ Velocidade e direção do vento.....	55
	□ Umidade Relativa do Ar	58
	□ Radiação Solar	59
4.3	Ciclos médio horário das concentrações de NO ₂	61
4.3.1	Relação entre as variáveis meteorológicas e concentrações de NO ₂	62
	□ Velocidade do Vento	62
	□ Umidade relativa do ar.....	63
	□ Radiação Solar	64
4.4	Estudo de caso	66
4.4.1	Estudo de caso em um dia de semana.....	66
4.4.2	Estudo de caso em um dia de final de semana	73
5.	CONCLUSÃO.....	82
	REFERÊNCIAS	83

1.INTRODUÇÃO

A poluição dos solos, rios, mares e atmosfera, é um dos grandes desafios para a sociedade atual. A poluição atmosférica é o foco deste trabalho, pois, a mesma é difícil de ser combatida, e uma vez emitida na atmosfera sobre influências meteorológicas, pode vir alterar a qualidade do ar em determinados lugares.

A partir de meados do século XVIII, a revolução industrial aumentou muito a poluição do ar. A queima de carvão lançava na atmosfera das cidades industriais europeias toneladas de poluentes. A poluição nas grandes cidades é visível e formada por diversas fontes sejam elas naturais, como as cinzas emitidas por um vulcão, ou artificiais, aquelas causadas pela interferência do homem no ambiente (PALÁCIO, 2004). Por exemplo, a cidade de Cubatão, localizada na região metropolitana da baixada santista no estado de São Paulo, no início da década de 1980 foi considerada como o município mais poluído do mundo, pois, apontava o lançamento de cerca de 1.300 toneladas por dia de poluentes particulados e gasosos emitidos por fontes industriais. (Organização das Nações Unidas – ONU)

As fontes de poluição do ar podem ser compreendidas como naturais ou antropogênicas. Quando naturais são emitidas por vulcões, por materiais em decomposição em forma de metano e outros. Mas quando são antropogênicas seus tipos de fontes são diversos, como estacionárias ou fixas, fontes móveis, fontes em área e fontes pontuais.

No Brasil as principais fontes de emissões são veiculares, industriais e queima de biomassa. Dando ênfase a fontes móveis notasse que dentre os principais poluentes emitidos por veículos automotores estão o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), aldeídos e materiais particulados como fuligem, poeira, metal, etc.

Os motores a diesel são amplamente utilizados a mais de um século praticamente em todos os continentes, principalmente nos países industrializados. E em geral são mais potentes e mais duráveis que os motores de ciclo Otto a gasolina, porém com este tipo de combustível ocorre à produção de fuligem, quanto mais escura for a tonalidade da fumaça, maior será a emissão de poluentes (CONPET, 2007).

O óxido de nitrogênio (NO_x) é um composto formado pela soma do monóxido e dióxido de nitrogênio (NO+NO₂). São gases produtos da exaustão de queima de combustíveis fósseis, constituindo-se principalmente de NO, ou seja, cerca de 90% do total do NO_x emitido, que posteriormente em escala que pode levar minutos a horas vem a se oxidar em NO₂ (CETESB, 2007).

A região metropolitana de São Paulo – RMSPP é considerada uma das mais poluídas, como citado em um exemplo anterior, seus parâmetros de qualidade do ar são críticos. Apresenta anualmente 161 mil toneladas de monóxido de carbono, 35 mil t/ano de hidrocarbonetos, 84 mil t/ano de óxidos de nitrogênio, 5 mil t/ano de material particulado e 9 mil t/ano de óxidos de enxofre. Desses totais, 97% das emissões de CO, 77% de HC, 82% de NO_x, 36% de SO_x e 40% de MP. O maior destaque vem das emissões de NO_x por veículos pesados, equivalente a 67% do total emitido. O NO_x é precursor do ozônio, poluente que vem merecendo atenção devido aos piores índices de qualidade do ar nos últimos anos na RMSPP (CETESB, 2010).

Como citado, a poluição é um fator de incômodo em grandes centros urbanos. A cidade de Maceió, município onde se localiza a área de estudo, atualmente, vem se desenvolvendo e acompanhando as tendências e mudanças industriais e socioeconômicas, sendo, portanto, uma cidade passível de obter pontos positivos e negativos devido às grandes transformações ocorridas em um curto espaço de tempo. Em Alagoas cerca de 80 veículos entre novos, seminovos são vendidos por mês, segundo a Superintendência Municipal de Transporte e Trânsito-SMTT. O plano de controle veicular (PCPV) realizado pelo Instituto Meio Ambiente-IMA, afirma que cerca de 95% da poluição de Maceió vem da queima de combustíveis.

Para o monitoramento desta imensa frota de veículos automotores movidos à diesel e outros combustíveis, as agências reguladoras do meio ambiente, no caso do Brasil o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) cria resoluções com padronização de emissões deste poluentes, sendo estes utilizados para aferir em qual parâmetro de qualidade se encontra a área desejada. Verificasse que além dos níveis de concentrações, diversos parâmetros climáticos interferem nessas concentrações dos componentes atmosféricos, podendo causar episódio de poluição.

Uma forma de minimizar o problema da poluição nas grandes cidades é o acompanhamento de entrada e saídas das frotas veiculares (novos e velhos), além disso, o tipo de combustível utilizado é outro fator importante, pois, para cada combustível se tem um percentual do composto emitido que varia para mais ou menos de acordo com o combustível.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), ligada a Secretaria de Meio Ambiente do governo paulista realiza o papel de avaliar a qualidade do ar, acompanhar as disposições e alterações na qualidade do ar devido às mudanças de emissões de poluentes e de conscientizar a população sobre os problemas da poluição do ar, esse controle de dados de emissões é realizado em vários municípios e pontos da Região

metropolitana de São Paulo – RMSP e uma sugestão de modelo a ser seguido nas cidades que sofrem com esse problema ambiental.

Por se tratar de gases, sempre oscilam em um espaço de tempo relativamente curto, as medições são bem complicadas de serem obtidas e as concentrações podem ser altas ou baixas dependendo da distância e do tipo de emissão e sua relação com a saúde do homem é extremamente importante dependendo do tempo de exposição e do tipo de poluente que o mesmo estiver exposto.

Contudo, este trabalho tem por finalidade observar à relação dos compostos nitrogenados as variáveis meteorológicas, além de enfatizar a influência direta ou indireta que a fonte de emissão tem para o aumento ou a redução das concentrações de NO e NO₂.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definição de poluição atmosférica

De acordo com (Teixeira, 2010), o estudo das reações químicas da atmosfera é relativamente complexo. Uma das dificuldades é a redução das concentrações que muitos compostos apresentam, baixa o suficiente para realização de sua medição e monitoramento, mas alta o suficiente para reagir entre si de modo a alterar a composição química natural do ar.

A atmosfera da terra tem uma composição diferente quando comparada com a de 3,5 bilhões de anos atrás. Segundo (Teixeira et. al., 2010) a atmosfera tem em sua composição química nitrogênio, oxigênio e outros vários tipos de gases nobres representado na tabela 1, que permanecem estáveis ao longo de um determinado tempo. A formação dos gases é através de processos químicos na parte interna da própria atmosfera, atividade biológica, vulcânica, exalação, decaimento radioativo, atividades industriais e humanas.

Tabela 1 - Alguns gases constituintes da atmosfera

Composto	% Percentual (em volume)
Nitrogênio	78,08
Oxigênio	20,95
Argônio	0,934
Dióxido de carbono	0,036
Neônio	$1,818 \cdot 10^{-3}$
Hélio	$5,24 \cdot 10^{-4}$
Metano	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Criptônio	$1,14 \cdot 10^{-4}$
Óxido nitroso	$3,0 \cdot 10^{-5}$
Monóxido de carbono	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Xenônio	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Amônia	$10^{-8} - 10^{-7}$

Fonte: Manahan, (2000).

O conceito de poluição atmosférica engloba uma gama de atividades, fenômenos e substâncias que contribuem para o desequilíbrio e a deterioração da qualidade natural da

atmosfera, afirma (Dallarosa, 2005). Sendo assim, a poluição do ar pode ser definida como resultado das características físicas, químicas e biológicas normais da atmosfera de forma a causar danos à sociedade e ao meio ambiente. Dentre as propriedades citadas, as características

físicas e químicas são essenciais para compreender o processo de formação da poluição. Na área física envolvem fenômenos dinâmicos, como movimento e dispersão atmosférica, difusão turbulenta e redução das concentrações dos poluentes por diluição (Teixeira et. al., 2010).

Contudo, as transformações químicas, compreendem as mais diversas reações, como oxidações catalíticas, processos fotoquímicos, reações ácido-base, etc, todos envolvendo os mais diversos compostos químicos presentes no meio (ALTWICKER et al, 1999).

2.1.1 Cenário da poluição no mundo

A Revolução Industrial na Inglaterra aumentou significativamente a poluição do ar. O carvão mineral que fornecia a energia para as máquinas mandava para a atmosfera das grandes cidades de indústria da Europa uma grande quantidade de poluição. Daí adiante à população teve que se reprimir ao ar poluído e aos problemas vindos do progresso tecnológico. As cidades do mundo inteiro são penitenciadas pelo resultado desse efeito que é causado pela poluição do ar.

Em zonas urbanas, a poluição é sucedida da atividade humana, e inclui as fontes fixas (indústrias, centrais elétricas) e fontes móveis (veículos). Nestas zonas onde existe o uso intenso de automóveis, citam-se as cidades da China, onde milhares de pessoas vivem uma realidade de caos, pois, o crescimento industrial da China nos últimos 27 anos é fato amplamente conhecido. A produção de produtos industrializados assim como o tráfego de veículos, tem remitido esse país a grandes problemas ambientais (BAIRD, C. 2002). O governo Chinês teve que intervir nesses setores, averiguando o nível de poluentes presentes no ar que demonstrava níveis críticos para a saúde da população, a cidade do México, que nos anos 40 era uma cidade muito limpa, onde era possível ver 100 km a sua frente. Atualmente, por causa da poluição atmosférica, a visibilidade foi reduzida a 1,5 km, ou seja, estimasse que 75% dessa emissão é oriunda de veículos. Há muito nitrogênio no ar, o que também dificulta uma respiração eficaz.

2.1.2 Cenário da poluição no Brasil

No Brasil as emissões são advindas principalmente de veículos, indústrias e queima de biomassa. Nas décadas de 70 e 80, observou-se a partir de estimativas em inventários de emissão que as fontes móveis-veículos tinham impacto significativo na emissão de poluentes nas regiões metropolitanas (CETESB, 2006).

Entre as 1,1 mil cidades avaliadas no mundo, a situação mais crítica é a do Rio de Janeiro, na 144ª colocação entre as mais poluídas, superando Istambul, Tijuana, Seul e Dar Al Salaam, Por cada metro cúbico de ar, foram encontradas uma taxa de 64 microgramas de poluição. Porém, a Organização Nacional da Saúde - OMS, declara que o ideal seria uma taxa de apenas 20 por metros cúbico de ar Um cidadão no Rio respira um ar seis vezes mais poluído que na Austrália ou Luxemburgo. Essas micro partículas, uma vez no pulmão, pode passar ao sangue e causar asma, câncer e doenças cardíacas. Uma parcela do interior paulista ainda seria considerada como o 204ª local mais poluído, rivalizando com Chennai, na China. Mas grande parte do interior paulista tem uma taxa de poluição perto do que pede a Organização Nacional da Saúde – OMS (WHO, 2005).

A região metropolitana de São Paulo vem na 268ª posição no mundo, com uma taxa de 38 microgramas por metro cúbico. A taxa é quase duas vezes superior aos níveis recomendados pela OMS, mas está na mesma posição que Paris e Buenos Aires São Paulo ainda é mais poluído que Caracas e Roma. Um paulistano respira quatro vezes mais partículas de poluição que alguém em Ottawa, Dublin ou na Finlândia. A partir dessa afirmação surgem programas de incentivo para melhoria de manutenção dos veículos de motores ciclos Otto e diesel proporcionando a redução da emissão desses poluentes (WHO, 2005). Além desse programa de incentivo para melhoria de manutenção, existiram alguns programas de apoio governamental para diminuição das emissões desses poluentes, o Programa Nacional do Álcool - (*PRO-ÁLCOOL*) e o Programa de Controle de Poluição por Veículos Automotores - (*PROCONVE*), respectivamente, o primeiro foi criado pelo governo brasileiro em 14 de novembro de 1975 (decreto nº 76.5930) e visava à substituição dos combustíveis derivados do petróleo para o álcool e o segundo determinava os limites para os níveis de emissão de poluentes para os veículos automotores (CETESB, 2010)

O *PROCONVE* em conjunto com as inovações tecnológicas permitiu uma significativa redução da emissão veicular de poluentes desde a década de 80 até os dias atuais. A Tabela 2 e 3 demonstra anualmente em g/km, as médias de emissões do NO_x e outros poluentes, respectivamente nos períodos de 1980 a 2004 e de 2005 a 2010.

Tabela 2 – Demonstração dos fatores médios das emissões dos anos (1980 a 2004)
para a cidade de São Paulo

ANO MODELO	COMBUSTÍVEL	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	RCHO (g/km)	CO ₂ (g/km)	MP (g/km)	AUTONOMIA ⁽²⁾ (km/L)	EMIÇÃO EVAPORATIVA DE COMBUSTÍVEL ⁽³⁾ (g/teste)
1980-1983	Gasolina C ⁽⁴⁾	33,00	3,00	1,40	0,050	nd	nd	nd	nd
	Etanol	18,00	1,60	1,00	0,160	nd	nd	nd	nd
1984-1985	Gasolina C	28,00	2,40	1,60	0,050	nd	nd	nd	23,00
	Etanol	16,90	1,60	1,20	0,180	nd	nd	nd	10,00
1986-1987	Gasolina C	22,00	2,00	1,90	0,040	nd	nd	nd	23,00
	Etanol	16,00	1,60	1,80	0,110	nd	nd	nd	10,00
1988	Gasolina C	18,50	1,70	1,80	0,040	nd	nd	nd	23,00
	Etanol	13,30	1,70	1,40	0,110	nd	nd	nd	10,00
1989	Gasolina C	15,20	1,60	1,60	0,040	nd	nd	nd	23,00
	Etanol	12,80	1,60	1,10	0,110	nd	nd	nd	10,00
1990	Gasolina C	13,30	1,40	1,40	0,040	nd	nd	nd	2,70
	Etanol	10,80	1,30	1,20	0,110	nd	nd	nd	1,80
1991	Gasolina C	11,50	1,30	1,30	0,040	nd	nd	nd	2,70
	Etanol	8,40	1,10	1,00	0,110	nd	nd	nd	1,80
1992	Gasolina C	6,20	0,60	0,60	0,013	nd	nd	nd	2,00
	Etanol	3,60	0,60	0,50	0,035	nd	nd	nd	0,90
1993	Gasolina C	6,30	0,60	0,80	0,022	nd	nd	nd	1,70
	Etanol	4,20	0,70	0,60	0,040	nd	nd	nd	1,10
1994	Gasolina C	6,00	0,60	0,70	0,036	nd	nd	nd	1,60
	Etanol	4,60	0,70	0,70	0,042	nd	nd	nd	0,90
1995	Gasolina C	4,70	0,60	0,60	0,025	nd	nd	nd	1,60
	Etanol	4,60	0,70	0,70	0,042	nd	nd	nd	0,90
1996	Gasolina C	3,80	0,40	0,50	0,019	nd	nd	nd	1,20
	Etanol	3,90	0,60	0,70	0,040	nd	nd	nd	0,80
1997	Gasolina C	1,20	0,20	0,30	0,007	nd	nd	nd	1,00
	Etanol	0,90	0,30	0,30	0,012	nd	nd	nd	1,10
1998	Gasolina C	0,79	0,14	0,23	0,004	nd	nd	nd	0,81
	Etanol	0,67	0,19	0,24	0,014	nd	nd	nd	1,33
1999	Gasolina C	0,74	0,14	0,23	0,004	nd	nd	nd	0,79
	Etanol	0,60	0,17	0,22	0,013	nd	nd	nd	1,64
2000	Gasolina C	0,73	0,13	0,21	0,004	nd	nd	nd	0,73
	Etanol	0,63	0,18	0,21	0,014	nd	nd	nd	1,35
2001	Gasolina C	0,48	0,11	0,14	0,004	nd	nd	nd	0,68
	Etanol	0,66	0,15	0,08	0,017	nd	nd	nd	1,31
2002	Gasolina C	0,43	0,11	0,12	0,004	198	nd	10,9	0,61
	Etanol	0,74	0,16	0,08	0,017	191	nd	7,2	nd
2003	Gasolina C	0,40	0,11	0,12	0,004	194	nd	11,2	0,75
	Etanol	0,77	0,16	0,09	0,019	183	nd	7,5	nd
	Flex-Gasol.C	0,50	0,05	0,04	0,004	210	nd	10,3	nd
	Flex-Etanol	0,51	0,15	0,14	0,020	200	nd	6,9	nd
2004	Gasolina C	0,35	0,11	0,09	0,004	190	nd	11,4	0,69
	Etanol	0,82	0,17	0,08	0,016	160	nd	8,6	nd
	Flex-Gasol.C	0,39	0,08	0,05	0,003	201	nd	10,8	nd
	Flex-Etanol	0,46	0,14	0,14	0,014	190	nd	7,3	nd

Fonte: CETESB, 2010

Tabela 3 – Demonstração dos fatores médios das emissões dos anos (2005 a 2010) para a cidade de São Paulo

ANO MODELO	COMBUSTÍVEL	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	RCHO (g/km)	CO ₂ ⁽²⁾ (g/km)	MP (g/km)	AUTONOMIA ⁽²⁾ (km/L)	EMIÇÃO EVAPORATIVA DE COMBUSTÍVEL ⁽³⁾ (g/teste)
2005	Gasolina C	0,34	0,10	0,09	0,004	192	nd	11,3	0,90
	Etanol	0,82	0,17	0,08	0,016	160	nd	8,6	nd
	Flex-Gasol.C	0,45	0,11	0,05	0,003	188	nd	11,5	nd
	Flex-Etanol	0,39	0,14	0,10	0,014	180	nd	7,7 ⁽⁵⁾	nd
2006	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192	nd	11,3	0,46
	Etanol	0,67	0,12	0,05	0,014	200	nd	6,9	nd
	Flex-Gasol.C	0,48	0,10	0,05	0,003	185	nd	11,7	0,62
	Flex-Etanol	0,47	0,11	0,07	0,014	177	nd	7,8	1,27
2007 ⁽⁶⁾	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192	nd	11,3	0,46
	Etanol ⁽⁷⁾	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex-Gasol.C	0,48	0,10	0,05	0,003	185	nd	11,7	0,62
	Flex-Etanol	0,47	0,11	0,07	0,014	177	nd	7,8	1,27
2008	Gasolina C	0,37	0,04	0,04	0,001	223	nd	9,74	0,66
	Flex-Gasol.C	0,51	0,07	0,04	0,002	185	nd	11,7	0,42
	Flex-Etanol	0,71	0,05	0,05	0,015	187	nd	7,38	1,10
	Diesel	0,30	0,06	0,75	nd	nd	0,057	nd	nd
2009	Gasolina C	0,30	0,03	0,02	0,002	228	nd	9,5	nd
	Flex-Gasol.C	0,33	0,03	0,03	0,002	181	nd	12,0	0,42
	Flex-Etanol	0,56	0,03	0,03	0,010	174	nd	8,0	1,10
	Diesel	0,31	0,06	0,70	nd	285	0,057	9,3	nd
2010	Gasolina C	0,23	0,03	0,02	0,001	213	nd	10,2	nd
	Flex-Gasol.C	0,28	0,04	0,03	0,002	178	nd	12,2	0,44
	Flex-Etanol	0,51	0,09	0,04	0,007	172	nd	8,3	0,79
	Diesel	0,14	0,03	0,72	nd	266	0,062	10,0	nd

Fonte: CETESB, 2010

Nota-se que no ano de 2007 não se obteve dados da emissão de álcool, isso devido a não fabricação de carros movidos a esse combustível. Essa frota foi substituída pela frota de carros “flex-fuel”, chegando a alcançar no ano de 2010, 90% da frota comercializada pelas indústrias automobilística.

2.1.3 Cenário da poluição em Alagoas

O crescimento demográfico das últimas décadas resultou em um grande contingente humano concentrado principalmente em áreas urbanas. O fenômeno do crescimento urbano acelerado juntamente com o processo de industrialização em Alagoas, também se intensificou nesse período, implicando em altos índices de frota de veículos transitando nas avenidas da cidade, o que provavelmente provoca a liberação dos poluentes que afetam direta e indiretamente a milhares de pessoas (FERNANDES, R.C, 2010).

Segundo uma pesquisa realizada no ano de 2010, pelo menos duas cidades do estado de Alagoas apresentaram níveis de concentrações expressivos de gases poluentes os municípios de Arapiraca, localizado na mesorregião do Agreste alagoano e a capital do estado, a cidade de Maceió, IMA (2010).

2.2 Principais poluentes atmosféricos

Como citado anteriormente o ar contaminado provém de diversas fontes. Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005), os poluentes atmosféricos são classificados em duas categorias: poluentes primários e poluentes secundários. Os poluentes primários são os contaminantes emitidos diretamente no ambiente e os poluentes secundários são resultados das reações dos poluentes primários na atmosfera. Os poluentes atmosféricos mais importantes são:

a) Dióxido de enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre, SO₂ em sua maioria é emitido por vulcões, este composto é produzido em grande escala por processos industriais e pelo tráfego de veículos a motor. O enxofre é um composto que pode ser encontrado em grande quantidade no carvão e petróleo, sendo que a combustão destes emitem quantidades consideráveis de SO₂, (FILHO, 1989). Para a saúde do homem seus efeitos podem ser demonstrados na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Concentração de SO₂ e seus efeitos nos seres humanos

Concentração do SO ₂ em ppm	Efeitos
0,52 com particulados (média de 24 horas)	Aumento da mortalidade
0,25 com fumaça (3 a 4 dias média de 24 horas)	Aumento da mortalidade
0,25 com particulados (3 a 4 dias média de 24 horas)	Aumento de doenças nos idosos
0,19 com baixa concentração de particulados	Aumento de mortalidade
0,11 a 0,19 com baixa concentração de particulados (vários dias de episódios)	Aumento de internação
0,037 a 0,092 com fumaça (exposição crônica)	Aumento de problemas respiratórios e doenças do pulmão

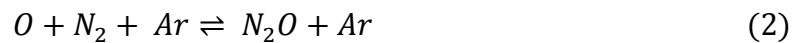
Fonte: Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos da América, (1980).

b) Óxido de Nitrogenados (NO_x)

Uma grande variedade de fontes de óxidos de nitrogênio existe tanto na superfície quanto na troposfera. A maioria das fontes emitem NO, mas algumas emitem também NO₂. Pode-se considerar essas fontes também de dióxido de nitrogênio, pois o NO rapidamente transforma-se quimicamente em NO₂, entrando em equilíbrio.

Os óxidos de nitrogênio NO_x, em especial o dióxido de nitrogênio NO₂, são emitidos a partir da queima de combustíveis fósseis a altas temperaturas, constituindo-se principalmente de NO, cerca de 90% do total do NO_x emitido, que vem a se oxidar em NO₂, afirma (SILVA JÚNIOR, 2009).

O gás mais abundante na atmosfera é o nitrogênio molecular (N₂), mas são as várias outras formas de compostos nitrogenados que se encontram na atmosfera que participam de importantes ciclos químicos, mesmo que esses componentes existam apenas como traçadores (da ordem de ppbv) ou ultratraçadores (da ordem de pptv). Durante o processo de combustão o nitrogênio do ar ou contido no combustível é convertido em vários poluentes que provém desse composto. Essas espécies poluentes formadas dependem principalmente da temperatura e da relação combustível/oxigênio na zona de combustão (FILHO, 1989) Equação (1) e (2) W.C.Jr. Gardiner (1999).



Segundo W.C.Jr. Gardiner (1999), essa formação do NO₂ tende a ocorrer na região onde existe rápido resfriamento, tais como na região da mistura de gases quentes de combustão da entrada do ar, como é apresentado na Tabela 5.

De acordo com (IRIBARNE.; CHO, 1980) o NO₂ tem um papel fundamental na fotoquímica da poluição do ar. Sua quantidade e distribuição são de significância direta para a qualidade do ar e atua indiretamente como precursor do ozônio (O₃).

O monóxido de nitrogênio é um forte oxidante que reage no ar para formar o corrosivo ácido nítrico (HNO₃) e os nitratos orgânicos tóxicos. O mesmo desempenha um papel importante na atmosfera com reações que produzem ozônio (O₃), dando origem ao Smog (fumaça + neblina) fotoquímico. Esse termo pode ser concluído como (poluição atmosférica derivada de emissões de veículos de combustão interna e fumos industriais que reagem na atmosfera com a luz solar para formar poluentes secundários que por sua vez se combinam com as emissões primárias), nesse caso, o NO₂ absorve energia do sol ($h\nu$) e produz espécies ativas (*) ($NO_2 + h\nu \rightarrow NO_2^*$) (SHIMAZAKI, 1985). Uma vez que o dióxido de nitrogênio é um poluente relacionado com o tráfego, as emissões são geralmente mais elevadas nas zonas urbanas. (Saldiva et.al., 1994); (CETESB, 2007).

A média anual das concentrações de dióxido de nitrogênio (NO₂) em áreas urbanas esta geralmente no intervalo de 10 a 45 ppbv de ar, e é menor nas zonas rurais. Geralmente os níveis variam consideravelmente ao longo do dia, com picos ocorrendo duas vezes por dia como uma consequência da hora de fluxo veicular, principalmente veículos movidos a diesel, (CETESB, 2010). Os veículos contribuem com, aproximadamente 60% de monóxido de carbono (CO), 50% de óxidos de nitrogênio (NO_x), 40% dos compostos orgânicos (HC) e material particulado (MP), (USEPA, 1998).

Tabela 5 – Concentração de NO e tempo de oxidação para NO₂

Concentração de NO no ar em ppb(v)	Tempo necessário para o NO ser oxidado para NO ₂ (min)
20.000.000	0,175
10.000.000	0,35
1.000.000	3,5
100.000	35
10.000	350
1.000	3500

Fonte: Manahan, (2000).

A concentração de NO₂ em qualquer hora ou local é determinada pela emissão de NO_x (NO+NO₂), suas reações de produção e perda, como também a dispersão e sua dissociação.

A remoção do NO₂ da troposfera é realizada pela reação com o radical de Hidroxila OH em HNO₃, que se deposita, e pela reação noturna com N₂O₅ em superfícies e aerossóis. Eq. (3). (4) e (5). (CÁSSIA UGUCIONE, GISELE FEIX et.al, 2002).



Segundo (SCHIRMER, 2004), as reações do gás Hidroxila na atmosfera funcionam como detergente natural do planeta, pois, ele é responsável pela decomposição de poluentes, como monóxido de carbono e ozônio. A formação, destruição e acumulação do ozônio na baixa troposfera são fenômenos complexos, que envolvem processos químicos e físicos na baixa troposfera e trocas de ar com a estratosfera (Zhang e Kim Oanh, 2002). Importante observar que a formação e destruição de ozônio fornecem oportunidade para programar estratégias no controle da qualidade do ar em locais onde os oxidantes fotoquímicos apresentam-se em altas concentrações (Zhang e Kim Oanh, 2002).

Afirma (Teixeira et al., 2010) que no ambiente, uma substância pode ser quimicamente alterada pela luz do sol, que pode conter energia suficiente para quebrar as moléculas, o que se chama reação fotoquímica. As alterações químicas ocorrem com maior frequência, quando duas moléculas interagem e sofre reação química para gerar novas

espécies. As transformações químicas na atmosfera podem ocorrer de forma homogênea ou heterogênea.

As substâncias inertes durante o transporte na atmosfera, também participam de reações químicas, podendo modificar seu estado original químico e físico em outros estados de características semelhantes ou diferentes. Essas transformações denominam-se de produtos secundários que podem ser retirados da atmosfera de forma diferente de seus precursores. A química atmosférica dos compostos de nitrogênio é complexa, pois eles participam de um grande número de porções químicas e como observado podem ser convertidos em grandes compostos químicos. Para a saúde humana pode ser fatal dependendo da quantidade emitida, como demonstra a Tabela 6 (FILHO, 1989).

Os processos fotoquímicos desempenham um papel importante nas reações químicas da atmosfera. Para que ocorra o processo, é necessária a ativação da molécula pela absorção de energia fotoquímica característica da frequência de radiação eletromagnética (luz do visível) chamada de *quantum* de radiação eletromagnética (MADRONICH, 1987).

Tabela 6 – Concentração de NO₂ e seus efeitos

Concentração do NO ₂ em ppm	Efeitos
150 ppm (5 a 8 minutos)	Potencial fatal
50 a 100 ppm (1 hora)	Pode causar broncopneumonia com provável recuperação
10 a 40 ppm (exposição intermitente)	Pode causar fibrose crônica e enfisema pulmonar
0,05 a 0,10 ppm (exposição crônica)	Evidência de aumento de bronquite crônica
0,05 ppm (exposição longa)	Evidência de aumento de doenças do pulmão e coração em geral

Fonte: Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos da América, (1980).

c) Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um produto obtido da combustão incompleta de combustíveis como o gás natural, carvão ou madeira. Na presença de um suprimento adequado de O₂ mais monóxido de carbono produzido durante a combustão, o mesmo é imediatamente oxidado a dióxido de carbono (CO₂). Os maiores níveis de CO geralmente ocorrem em áreas com tráfego intenso congestionado. Nas cidades, 85 a 95% de todas as

emissões de CO geralmente são provenientes do escape dos veículos leves (automóveis). Outras fontes de emissões de CO incluem processos industriais, ou fontes naturais, como incêndios florestais, (FILHO, 1989).

Assim como o NO_x, o CO também apresenta sérios riscos à saúde do homem, dependendo do nível de concentração. Para entender melhor a Tabela 7 expressa essa relação das concentrações de CO e seus efeitos sobre o ser humano.

Tabela 7 – Concentração de CO e seus efeitos

Concentração de CO em ppm	Efeitos
Concentrações maiores que 100 ppm (10 minutos)	'stress' fisiológico em pacientes com doenças do coração
100 ppm (intermitente)	diminuição de desempenho em teste psicomotor
50 ppm (para 90 minutos)	diminuição no intervalo de tempo de discriminação para não fumantes
30 ppm (acima de 12 horas)	carbono elevado nos níveis de hemoglobina com redução do transporte de oxigênio

Fonte: Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos da América, (1980).

2.3 Principais fontes de emissão

As fontes de poluição podem ser naturais ou artificiais (antropogênicas). Variam de acordo com as causas das emissões, ou de acordo com a sua especificidade e dispersão territorial e temporal. Em uma melhor descrição para compreensão das fontes, elas são classificadas como, estacionárias, sendo essas emissões provenientes de fontes fixas, como centrais elétricas e termoeletricas, instalações de produção, incineradores, fornos industriais e domésticos, aparelhos de queima e fontes naturais como vulcões, incêndios florestais ou pântanos. (LORA, 2000).

As fontes pontuais são especiais, pois apresenta análise e tratamento particular, isso pelo fato de serem limitadas no tempo, como no caso das chaminés. As fontes áreas apresentam características de emissões em áreas específicas. A fonte móvel será a mais abordada devido a sua contextualização, mas, pode ser definida como fontes em movimento, pois que provém de meios de transporte. Até meados da década de 80, a poluição atmosférica nas metrópoles era atribuída às emissões industriais das refinarias, dos pólos petroquímicos, dos centros de geração de energia e das indústrias siderúrgicas, (OMETTO, 1998).

O nosso sistema de transporte atual se baseia na queima de combustíveis, consequentemente, a poluição do ar é um subproduto. Estas fontes de transporte incluem automóveis, ônibus, caminhões, aviões, equipamentos de fazenda, trens, navios etc, correspondendo a 90% dessas emissões. Nos Estados Unidos desde 1963, quando o sistema de ventilação positiva do carter foi instalada, os automóveis têm sido projetados com equipamento de controle da poluição do ar proporcionando uma diminuição das emissões dos tanques de gasolina, carburadores, alívios de carter e do cano de escapamento, (EPA, 2008).

Para estes controles trabalharem efetivamente, é preciso que o motor esteja regulado e o carburador seja ajustado de maneira adequada. Um motor regulado inadequadamente resultará em altas emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, óxidos nitrogenados e uma baixa economia de combustível. O carburador controla a relação ar/combustível do veículo.

Se a relação ar combustível for muito alta, quantidades maiores de óxidos de nitrogênio serão emitidas, enquanto que com se relação ar combustível for baixa, aumentará a quantidade de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, assim como aumento do consumo de combustível. A combustão incompleta é a maior causa da poluição do ar, embora a combustão completa resulte na emissão de compostos não danosos de dióxido de carbono, vapor de água e cinzas (FILHO, 1989).

2.3.1 Emissão veicular

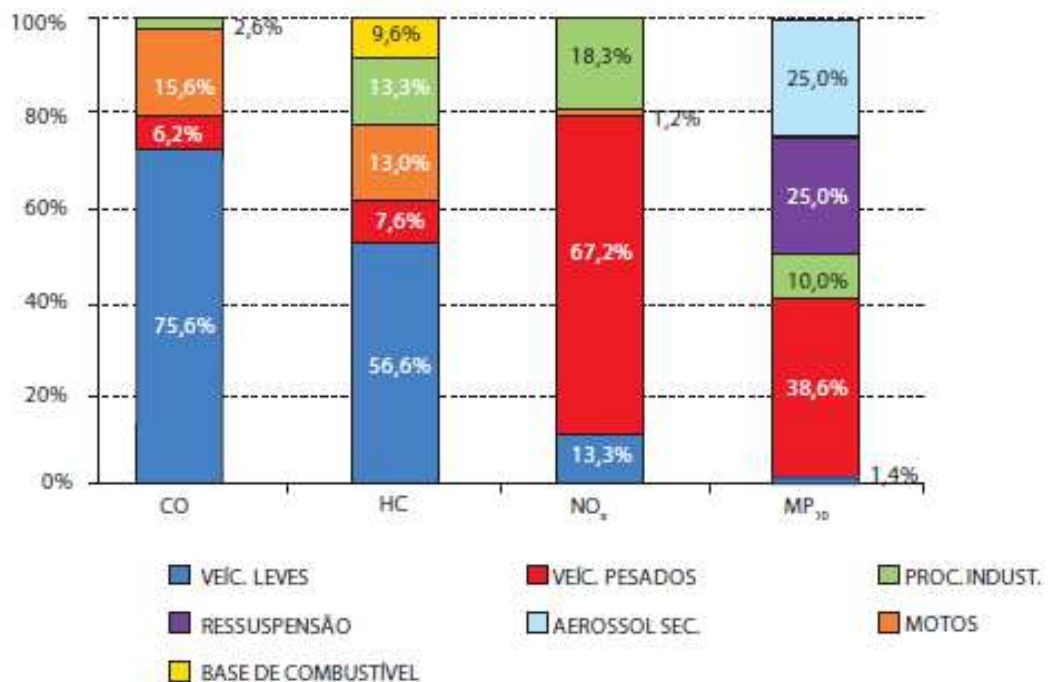
Cerca de 50% do NO_x encontrado na atmosfera vem das emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis através da reação de N₂ com O₂ em altas temperaturas (Manahan, 2000). As emissões globais estimadas de NO_x, provenientes da queima de combustíveis fósseis, aumentaram de 18,1 TgN/ano em 1970 para 24,3 TgN/ano em 1986 (Seinfeld e Pandis, 1997), que são considerados relevantes contaminantes ambientais, uma vez que, sua participação na chuva ácida, é responsável pela destruição de áreas remotas assim como na formação do “Smog” fotoquímico.

Nas cidades brasileiras as emissões veiculares, industriais, e queima de biomassa são as principais fonte de emissões. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os veículos são responsáveis por cerca de 97% do NO_x total emitido (CETESB, 2010), onde crianças, pessoas com doenças pulmonares, e pessoas que trabalham em lugares mais abertos são

particularmente suscetíveis aos efeitos adversos da poluição, tais como danos ao tecido pulmonar e redução da função pulmonar.

Segundo os relatórios de 2006 a 2010 da (CETESB) na cidade de São Paulo os veículos pesados movidos a diesel apresentaram maiores estimativas de níveis de poluentes, ou seja, cerca de 67,2% desses veículos emitem NO_x, os outros 32,8% destinasse as indústrias e veículos leves. Como demonstra a Figura 1.

Figura 1 – Emissão relativa ao tipo de fonte.



Fonte: CETESB

Dos 100% da frota a diesel, cerca de 70% são os ônibus urbanos e caminhões pesados, sendo esses responsáveis pela maior parte da emissão do NO_x. Porém, os caminhões pesados segundo a (CETESB, 2010) ainda sim, apresentam valores superiores devido ao seu intenso uso, confirmando as estimativas dos fatores de emissão calculadas pelo Programa de Controle Veicular (PROCONVE), onde 10,70 gramas/quilômetro de óxido nitrogenados são lançadas a cada hora, como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Fatores de emissão dos motores de veículos pesados do ciclo a diesel

FASE PROCONVE	CO (g/KWh)	HC (g/KWh)	NO _x (g/KWh)	MP (g/KWh)
*I	-	-	-	-
II	1,86	0,68	10,70	0,660
III	1,62	0,54	6,55	0,3118
IV	0,85	0,29	6,16	0,120
V	0,86	0,17	4,67	0,085

Fonte: CETESB, (2010).

*I não obteve resultados devido ao período de implantação do programa.

De acordo com a resolução do *CONAMA N° 297/02 em relação aos veículos leves, todas as motocicletas e veículos novos no ano de 2003 emitiam 0,30g/Km dos óxidos nitrogenados, mas, a partir do ano de 2009 houve uma redução de 0,15g/Km de emissão desses óxidos, valor esse não significativo para os parâmetros da qualidade do ar, como é apresentado na Tabela 9:

Tabela 9- Limites de emissão para motocicletas e veículos similares novos

ANO	MOTOR (cm ³)	NO _x (g/km)
Jan/2003	Todos	0,30
	<150	0,30
Jan 2005/2006	> 150	0,30
	<150	0,15
Jan 2009	<150	0,15
	> 150	0,15

Fonte: CONAMA, (2002).

Com o aumento da fiscalização e de novas resoluções que limitam a emissão de contaminantes atmosféricos em vias, houve uma redução relevante do controle da emissão de NO_x pelos veículos novos. Isso por que veículos fabricados na década de 90 lançavam em média cerca de 2,0g/km. Todavia, a ausência de manutenção e conservação ideal dos veículos tende apresentar valores superiores ao mencionados anteriormente.

2.4 Legislação

2.4.1 Resolução do CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é um órgão consultivo que estabelece os padrões de qualidade do ar definindo o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, garantindo a proteção da saúde e do meio ambiente. Considerando a importância do problema a Resolução do CONAMA N°5 de 15 de Junho de 1989 institui o Programa Nacional de Qualidade do Ar – PRONAR, que compõe o mesmo perfil de tomadas de decisões, vindo apenas para fortalecer os critérios já existentes pelo próprio conselho. Vários critérios são estabelecidos para diversos compostos tanto de padrão primário como para padrões secundários.

O dióxido de nitrogênio apresenta padrão primário aritmético anual estabelecido de 100 microgramas para m³ do ar e concentração média horária de 320 microgramas para m³ do ar. Em padrões secundários apresenta média aritmética anual estabelecida de 100 microgramas para m³ do ar e concentração média horária de 190 microgramas para m³ do ar (CETESB, 2006).

Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos lançados por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança. Conforme a Resolução de N°03/90 é estabelecido dois tipos de padrões de qualidade do ar, os primários e os secundários CONAMA (1990). Os primários são poluentes que ultrapassados do valor permitido poderão afetar a saúde da população, porém são entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, sendo caracterizado em metas de curto e médio prazo.

As concentrações de poluentes que recebe categoria de padrões secundários são as que estimam o mínimo efeito adverso sobre a saúde da população, a fauna, a flora e ao meio ambiente de maneira em geral. Sendo então caracterizado como níveis desejados de concentração de poluentes. Os padrões nacionais de qualidade podem ser expressos de maneira geral na tabela 10:

Tabela 10 – Padrão para todo o Território Brasileiro.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário µg/m ³	Padrão Secundário µg/m ³	Método de Medição
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes

Partículas inaláveis	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	Separação inercial/filtração
Fumaça	24 horas ¹ MAA ³	150 60	100 40	Refletância
Dióxido de enxofre	24 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	Pararosanilina
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	Quimiluminescência
Monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000 35 ppm	40.000 35 ppm	Infravermelho não dispersivo
	8 horas ¹	10.000 9 ppm	10.000 9 ppm	
Ozônio	1 hora ¹	160	160	

Fonte: CONAMA, 1990.

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

A Legislação Estadual (DE 8468 de 08/09/76) do Estado de São Paulo-SP, estabelece padrões de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar, abrangendo um número menor de parâmetros (Tabela 11). Esses parâmetros de fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio não têm padrões e critérios estabelecidos na Legislação Estadual. Os parâmetros comuns às legislações federal e estadual têm os mesmos padrões e critérios, com exceção dos critérios de episódio para ozônio. Neste caso a Legislação Estadual é mais rigorosa para o nível de atenção a partir de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, CONAMA (1990).

Tabela 11 – Parâmetros de episódios agudos de poluição do ar para todo o território Brasileiro

partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400*	800	1.000

Fonte: CONAMA, (1990).

*O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na Legislação Estadual que é mais restrita (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Através do índice adquirido o ar recebe qualificações, por meio das medidas de poluentes que são calculados obtendo valores específicos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Essas qualificações variam de boa a péssima obedecendo a uma medida para cada intervalo, expressadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Qualificações do ar por medidas de poluentes para todo o território Brasileiro

Qualidade	Índice	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Fonte: CONAMA, (1990).

Por meio dos índices de qualificação do ar é possível caracterizar os efeitos de cada intervalo dando significado aos próprios (tabela 13). Observa-se que a melhor conformidade de qualidade do ar está entre 0-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de volume do ar, este intervalo apresenta menores riscos à saúde do homem e a pior está no intervalo que apresenta valores > que 299 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de volume do ar.

Tabela 13 – Parâmetros de qualificações do ar para todo o Território Brasileiro

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CONAMA, (1990).

Esse índice foi criado desde 1981 com base em uma grande experiência desenvolvida nos Estados Unidos (EUA) e Canadá (EPA, 2008). Para a análise do índice da CETESB, os parâmetros são dióxido de enxofre (SO₂), partículas inaláveis, partículas totais em suspensão

(PT_s), materiais particulados (MP₁₀), fumaça (FMC), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂), (CETESB, 2009).

2.5 Principais variáveis meteorológicas para o estudo das concentrações do NO_x.

2.5.1 Velocidade e direção do vento

O Atlas eólico do estado de Alagoas (2008) apresenta características do regime de vento a nível global, demonstrando que o Estado sofre influência de ventos alísios, que resulta em ventos de relativa constância e com acentuada ocorrência das direções Sudeste (SE) e Leste (L).

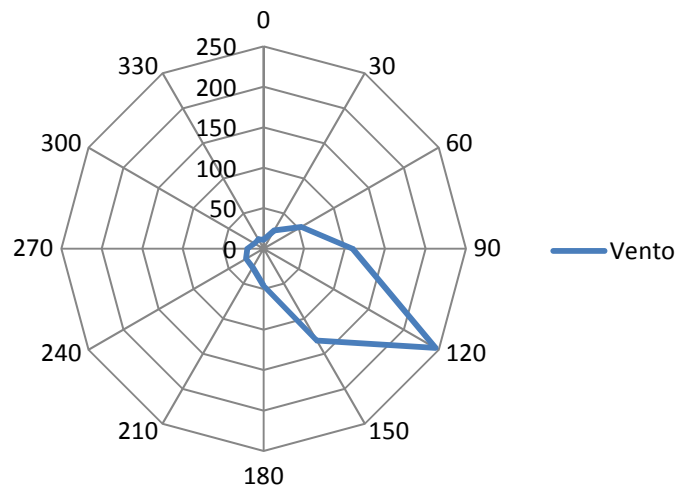
Observando através do mecanismo de mesoescala, o Estado sofre influência de diversos fenômenos, tais como brisas marinhas, terrestres, lacustres, brisas vale-montanha e jatos noturnos, que são responsáveis por variações locais como é o caso da Cidade de Maceió que sofre atuação dos fenômenos de brisa marinha e terrestres em alguns locais Atlas Eólico, (2008).

As variações locais significativas de regime de vento são caracterizadas pelo terreno. Segundo o atlas eólico do estado de alagoas (2008), alguns exemplos dessas variações locais ocorrem nas regiões serranas, com acelerações orográficas e ocasionais canalizações entre passos de montanhas, assim como uma variada e complexa interação entre o deslocamento atmosférico e as formações montanhosas. A ocorrência de ventos mais fortes nessas áreas é encontrada nos cumes e cristas das elevações, onde supostamente tem-se o maior efeito do escoamento atmosférico.

Na cidade de Maceió a média anual da velocidade do vento é de 5 m/s com predominância de nordeste. Porém, durante o período de estudo (Abril-Maio) sua velocidade é reduzida, apresentando média de 4 m/s, além disso, a direção sofre mudanças, sendo os ventos predominantes nesse período de sudeste, Atlas Eólico,(2008).

Segundo (CORREIA FILHO e ARAGÃO, 2009), cerca de 70% dos dados de predominância do vento correspondem ao quadrante 90° em Leste (E) e 135° em Sul (S). Afirma (BERNARDO e MOLION, 2000) que 66% do vento, têm sua predominância no quadrante sudeste (SE) entre 120° e 150° nos período de Abril e Maio, apresentando percentual de 31% em leste-sudeste (ESE) e 45% no quadrante Sul-sudeste (SSE). Confirmado, como demonstra a Figura 2, os dados coletados no período estudado.

Figura 2 - Simulação do ciclo médio horário da direção do vento para Maceió-AL o período de Abril/Maio de 2011.



2.5.2 Radiação solar

As reações químicas dos óxidos nitrogenados ($\text{NO}+\text{NO}_2$) na presença dos primeiros raios solares incidentes na superfície tendem a se ativar, ou seja, o NO reage com O formando o NO_2 (1) (MADRONICH, 1987).



Reagindo com outros gases, são os principais precursores dos poluentes secundários, como o ozônio (O_3). Com a fotólise do NO_2 no comprimento de onda $\lambda < 420\text{nm}$, libera molécula de NO e átomo de oxigênio reagindo com oxigênio molecular formando o O_3 (2) e (3). Ressaltando que M (geralmente N_2 ou O_2), chamado de terceiro corpo, é um atenuador de energia para a estabilização do ozônio formado (MADRONICH, 1987).



* $\text{O}({}^3P)$ Oxigênio em estado fundamental, ou seja, em nível de mais baixa energia.

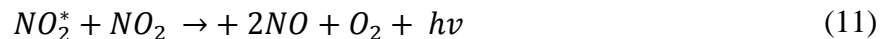
* $\text{O}({}^1D)$ Oxigênio em estado ativado.

Com a reação rápida de O_3 com monóxido de nitrogênio NO, regenerando o dióxido de nitrogênio NO_2 (4) (SHIMAZAKI,1985).



Sendo essas reações cíclicas. A absorção da radiação solar pela molécula de dióxido de nitrogênio é um fenômeno extremamente importante na baixa e média atmosfera terrestre. Isto se deve ao fato de que o NO_2 absorve a radiação solar não só na faixa do ultravioleta, mas também do visível, sendo fotodissociado em toda a atmosfera, inclusive na troposfera onde é o principal responsável pela presença do átomo de oxigênio proveniente de sua dissociação. Assim, a absorção pela molécula de NO_2 da radiação na faixa do visível é importante, por ser responsável pela formação do *smog* fotoquímico na troposfera e por ser efetiva na redução da intensidade da radiação solar que atinge o solo (SHIMAZAKI,1985).

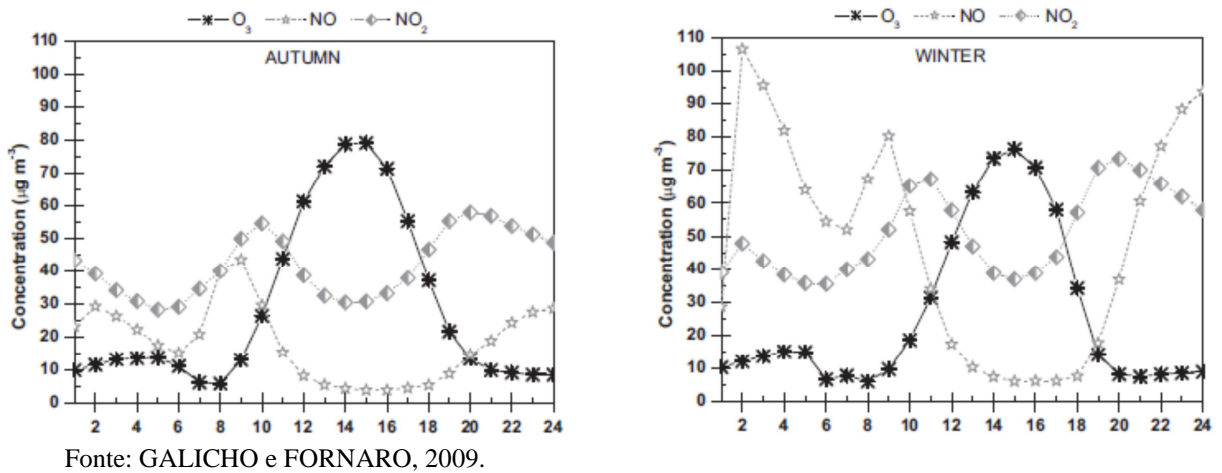
Após receber radiação o composto dióxido de nitrogênio fica eletronicamente ativado (*) NO_2^* . Nos comprimentos de onda entre 460nm a 630nm pode se dissociar em NO e O_2 por meio da reação com NO_2 (SHIMAZAKI, 1985).



Segundo (GALICHO e FORNARO, 2009) a relação do NO_2 com a radiação solar podem ser observadas em dois momentos, pelo dia e pela noite. Respectivamente no primeiro caso ocorre pelo dia, quando o NO_2 apresenta baixos níveis de concentrações, devido à fotodissociação e o segundo momento ocorre pela noite quando os níveis de concentrações tendem a aumentar consideravelmente devido o fim da atividade fotoquímica. A figura 3 representa um estudo realizado na cidade de São Paulo e demonstra a interação do NO, NO_2 e O_3 durante as estações de outono e inverno.

Nesse estudo o período de inverno apresentou um pico noturno de NO extremamente alto. Segundo (GALICHO e FORNARO, 2009) uma explicação evidente para esse aumento de concentração durante a noite é a redução da Camada Limite Planetária-CLP, além das emissões no mesmo horário.

Figura 3 – Níveis de concentração de NO, NO₂ e O₃ no período de Outono e Inverno.



2.5.3 - Umidade relativa do ar (UR)

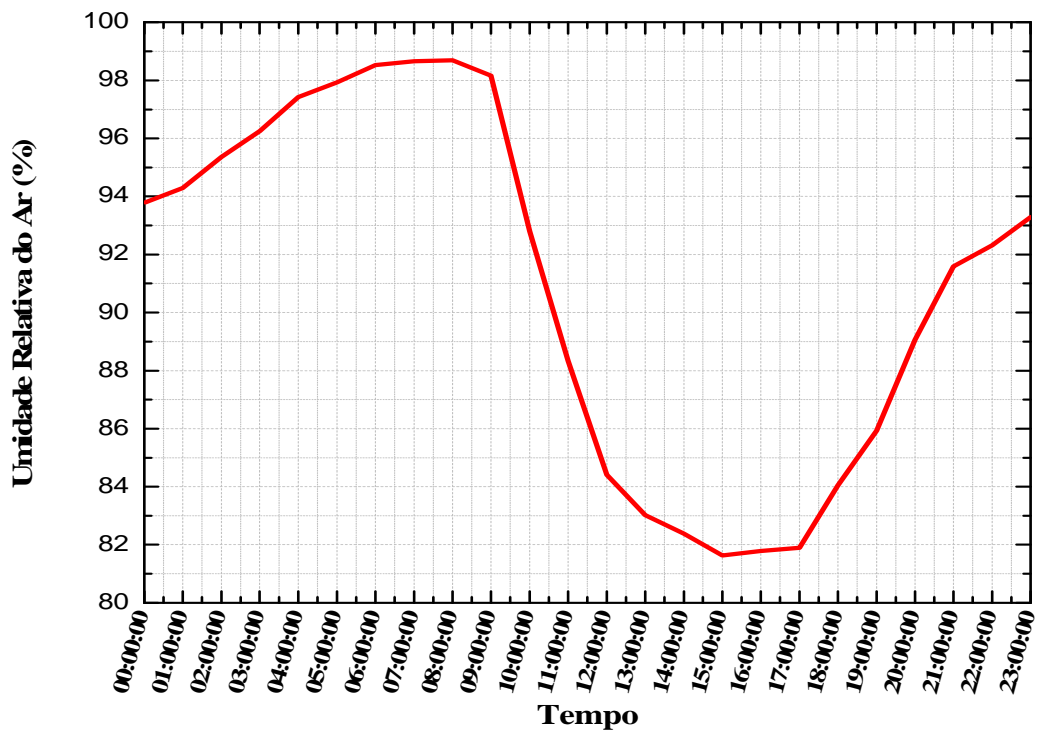
A umidade relativa do ar é compreendida como a relação entre a pressão de vapor do ar (medida em pascal) e a pressão de vapor do ar obtida em condições de equilíbrio ou saturação sobre uma superfície de água líquida ou gelo, definido pela equação $UR = \frac{e_s}{e_a}$. O valor da UR varia entre 0 e 1 para condições até a saturação e acima de 1 para condições supersaturadas de acordo com a temperatura. Ou seja, a umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de água existente no ar e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (FILHO, J.B.G, 1989)..

Essa umidade presente no ar é decorrente de uma das fases do ciclo hidrológico, o processo de evaporação da água. O vapor de água sobe para a atmosfera e se acumula em forma de nuvens, mas uma parte passa a compor o ar que circula na atmosfera. Isso quer dizer que quando certo material é exposto à umidade, ele perde ou ganha água para ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente (FILHO, J.B.G, 1989).

A variação da umidade durante o período estudado é representado na figura 4. No ciclo médio horário do período analisado observa-se que a umidade alcançou sua máxima às 09:00 horas com 98,69% e sua mínima as 16:00 horas com valor de 80%. Para os compostos oxigenados, segundo (LEDBETTER, J. O 1972) no período em que se tem alta umidade esses compostos tendem a se acumular devido às baixas temperaturas e ausência de radiação solar. Sendo assim, o período da noite é devidamente propício ao aprisionamento desses poluentes.

Para explicar melhor, podemos verificar o comportamento do ciclo médio horário da umidade relativa do ar no período em estudo.

Figura 4 - Simulação do ciclo médio horário da Umidade relativa do ar para o período de estudo



Fonte: autor (2012)

Inicialmente observa-se uma tendência de correlação no ciclo médio horário. As concentrações apresentam-se relativamente com maiores valores dos óxidos nitrogenados em períodos onde a umidade é relativamente alta, ou seja, ao interagir com a água os óxidos aumentam sua concentração, isso poder ser explicado, pois a maioria dos gases apresentam características hidrofílicas, ou seja, apresenta uma boa interação com a água (LEDBETTER, J. O 1972).

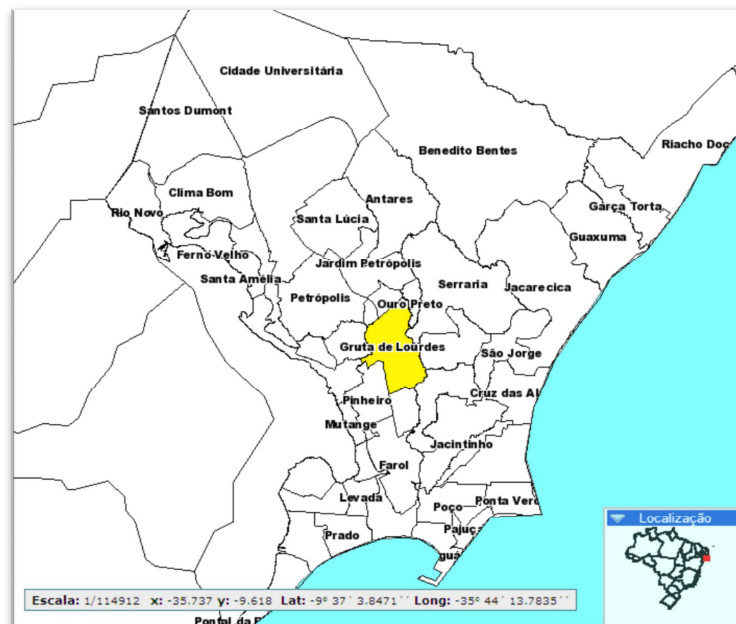
3. METODOLOGIA

3.1 Localização e descrição da área experimental

A cidade de Maceió localiza-se no litoral do Nordeste Brasileiro, entre as coordenadas $9^{\circ} 39'57''$ S e $35^{\circ}45'07''$ W, no Estado de Alagoas. Às margens do oceano Atlântico e do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú – Manguaba – (CELMM) a cidade de Maceió abrange uma área de 503.069 km² (figura 5), possuindo uma população de 932.748 habitantes, segundo Censo Oficial do ano de 2010 com estimativa de 943.110 hab. em 2011 (IBGE, 2010). Maceió pode ser considerada como metrópole, pois é a cidade principal do Estado de Alagoas, onde a mesma exerce influência (cultural, social e econômica) sobre as demais cidades da região.

Pode-se designar Maceió também de forma oficial, a cidade principal de um conjunto de cidades que encontram-se unidas geograficamente. A esse processo de junção das cidade devido ao crescimento horizontal das mesmas dá-se o nome de conurbação, e a região onde ocorre fenômeno é considerada como região metropolitana.

Figura 5 – Localização da área de estudo na Região Metropolitana de Maceió/AL



Fonte: Autor, 2012, Software Terraview

3.2 Climatologia da região de estudo

De acordo Fonseca e Azevedo, 1983 o clima regional característico onde se localiza a área de estudo é do tipo subúmido a úmido segundo a classificação de Thornthwaite, apresenta um período quente que se inicia geralmente em setembro e se estende até março. Esses ventos são principalmente decorrentes dos alísios de SE, NE (estes com menor intensidade) e do fluxo de ar polar. Esta característica climática é resultado da análise de dados de temperatura e precipitação pluviométricos, oriundos do comportamento dos regimes térmico e pluviométrico, caracterizado a seguir.

A cidade de Maceió possui temperatura média diária entre 24°C e 26°C, o que caracteriza a não existência de inverno no sentido térmico da palavra, pois o mês mais frio possui média climática superior a 18°C. Os meses mais frios são: junho, julho e agosto. A amplitude térmica média anual é pequena e as temperaturas médias mais elevadas ocorrem no período seco, mais precisamente nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março (op. cit.).

Quanto à distribuição anual das precipitações, Maceió, apresenta dois períodos distintos: um período chuvoso, denominado de inverno, correspondente aos meses de abril, maio, junho, julho e agosto e um período seco, denominado de verão, que ocorre nos meses de setembro a março. Os meses mais chuvosos do ano são em ambos os municípios, corresponde de maio a julho. No trimestre mais chuvoso cai em torno de 40% a 50% do total anual da precipitação. Além da irregularidade da distribuição anual das precipitações, nos anos em que ocorre o fenômeno El Niño há redução significativa do período chuvoso agravando as Secas no Oeste e alongando o período sem precipitação no Leste alagoano, na qual ocorre o fenômeno inverso (op. cit.).

A ação dos sistemas de circulação atmosférica somada à localização da Maceió de resultam em baixas latitudes onde as temperaturas são elevadas e precipitações abundantes, elementos que definem seu clima quente e úmido sem grandes diferenciações térmicas. A incidência de chuvas é maior nos meses de abril a julho e mínimo em novembro e dezembro. Os ventos dominantes sopram dos quadrantes leste, sul, sudeste e nordeste, sendo estas duas as mais predominantes (Fonseca e Azevedo, 1983).

A área de estudo encontra-se geograficamente localizada nas coordenadas 9°36'52" de Lat. S e 35°44'28" de Long. W no bairro da Gruta de Lourdes que tem seu perímetro definido por diversos fatores naturais e/ou antrópicos. Como por exemplo, está próximo do mar cerca de 6,5 km, a 2 km do Complexo Estuarino Mundaú-Manguaba - CELMM, a 40 metros de distância de edificações e a 136 metros da Avenida Fernandes Lima, sendo essa a principal

via de acesso a diversos bairros da cidade Maceió, apresentando intenso fluxo de automóveis durante todos os dias da semana e enfraquecendo aos finais de semana. Alguns desses pontos podem ser observados na (Figura 6).

Segundo estudo realizado durante o mesmo período e pela Superintendência Municipal de Transporte e Trânsito (SMTT) cerca de 10.000 veículos transitam por hora na Avenida Fernandes Lima, sendo que entre veículos leves (automóveis) e pesados (caminhões e ônibus). A observação foi realizada dentro de uma área de Mata Atlântica secundária na sede do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA no período de 20 de Abril a 20 de Maio de 2011.

Figura 6 - Descrição da área de estudo, com ênfase no ponto de medição (Sede do IBAMA), via de tráfego (Avenida Fernandes Lima), e a direção predominante do vento durante o período de estudo (flechas amarelas).



Fonte: Google Earth, 2009.

3.3 Instrumentos Utilizados

a) Elementos meteorológicos

Os dados eram transmitidos via Wireless para uma console (receptor), que por sua vez, eram acumulados em um Datalogger interno e, posteriormente transferidos para um computador via cabo elétrico.

Tabela 14 – Características da Estação Meteorológica

PARÂMETROS	FUNÇÕES
Termohigrômetro	Medição da temperatura e UR do ar.
Pluviômetro	Medição das alturas pluviométricas (chuva)
Radiômetro de Radiação solar	Medição da intensidade de radiação solar
Radiômetro de Radiação ultravioleta	Medição da intensidade de radiação ultravioleta
Barômetro	Medição da pressão atmosférica
Anemômetro	Medição da velocidade e direção do vento

Fonte: Intruccion Manual, 1999

Para o monitoramento das variáveis meteorológicas foi utilizada uma estação automática da VantagePro2 Davis, EUA como demonstra a figura 7. Os parâmetros utilizados pela estação são demonstrados na tabela 14.

Figura 7 – Estação Meteorológica na área de estudo, IBAMA-AL, 2011



Fonte: Autor(a), 2012

b) Elementos Químicos

O monitoramento dos parâmetros químicos e físicos foi medido com frequência de dados a cada 10 minutos. A medição das concentrações de óxido de nitrogênio ocorreu de forma contínua, por um analisador NITROGEN OXIDE ANALISER 200A (Teledyne – API, EUA), pelo método de quimiluminescência. A quimiluminescência é uma reação química onde por meio da mistura de reagentes ocorre a emissão de luz sem a necessidade de qualquer ativação externa. Os parâmetros expressos na tabela 15 são utilizados pelo analisador:

Tabela 15 – Características do Analisador de NO_x, modelo 200A-API

PARÂMETROS	NO _x (NO + NO ₂)
Resolução	0,1 m/s
Ranger	1 a 20.000 ppbv
Precisão	± 0,5%
Limite inferior de detecção	0,4 ppbv
Tempo de resposta	20 seg.
Linearidade	1%
Temperatura de operação	+ 5°C a + 40° C
Umidade relativa	0 – 95% sem condensação
Unidades	ppbv, ppmv, µg/m ³ , mg/m ³

Fonte: Intruccion Manual do Analisador de óxido de nitrogênio, 1999.

O monitor de NO_x está baseado no princípio da reação do óxido nítrico NO com o ozônio O₃, que produz moléculas de NO₂ em estado eletrônico excitado. Quando estas moléculas de NO₂ decaem para um estado de menor energia emitem luz no infravermelho, com uma intensidade linear proporcional a concentração de NO segundo a reação:



Interligado a uma bomba de sucção à vácuo (API – Teledyne, EUA), todo o ar do ambiente era conduzido para o ambiente interno do analisador por uma mangueira de teflon azul de um ¼” de polegadas com comprimento de 10 metros e espessura de (6.32mm), passando por um filtro, afim de eliminar o material particulado. Para a determinação em separado da concentração de NO e de NO_x (NO+NO₂), o ar passa alternadamente por um

reduzidor de NO_2 para NO . Para a determinação de NO_x , todo NO_2 é convertido a NO , por meio de um conversor de molibdênio aquecido a 325°C . Uma fotomultiplicadora detecta a luminescência do NO_2 . A diferença entre as duas leituras fornece a concentração de NO ou NO_x . A concentração de NO_2 é obtida pela diferença entre a concentração do NO_x pelo NO . Na figura 8 é possível visualizar o ambiente interno do NITROGEN OXIDE ANALISER 200A.

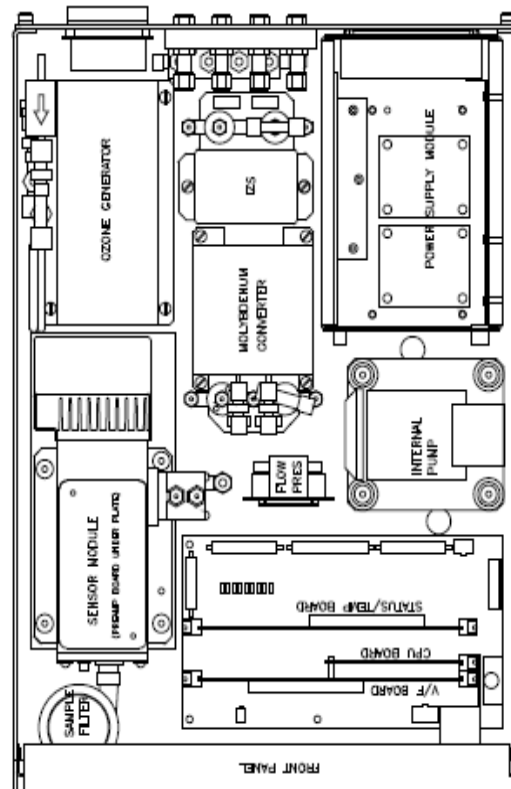


Figura 8 – Parte interna do Analisador de NO_x . Fonte: Manual do analisador de NO_x , 2006.

Na figura 9 é visualizada a parte externa do analisador de NO_x em funcionamento na área de estudo. E na Figura 10 o laboratório móvel utilizado para transportar os aparelhos durante o período de estudo Abril/Maio de 2011.

Figura 9 – Analisador de NO_x NITROGEN OXIDE ANALISER 200A em funcionamento na área de estudo, IBAMA-AL, 2011



Figura 10 – Laboratório móvel de poluição do Instituto de Ciências Atmosféricas em funcionamento na área de estudo, IBAMA-AL, 2011



3.4 Tratamentos dos dados com o WRF

O WRF (Weather Research and Forecasting) é um modelo não-hidrostático de previsão numérica do tempo desenvolvido pelo NCAR (National Center for Atmospheric Research) com colaboração de diversas universidades e outros institutos de pesquisas (SKAMAROCK e colaboradores, 2005). Neste trabalho, o WRF foi configurado para previsão dos meses de Abril e Maio de 2011, iniciado em 20/04/2011, 00:00UTC e terminando em 20/05/2011, 00:00UTC, num total de 744 horas de simulação. O domínio horizontal possui 81 x 81 pontos com espaçamento de 5 km centrado em Coordenada do IBAMA. Na vertical foram usados 31 níveis com o topo do modelo em 50mb.

3.5. Análise estatística

Foi realizado registro a cada 10 minutos dos níveis de concentração de NO, NO₂ e NO_x, porém, para melhor análise foram realizadas tabelas com médias horárias. Posteriormente foi feita a variância pela equação $S^2 = \frac{\sum (x_i - Média)^2}{(n-1)}$ para poder calcular o desvio padrão a cada hora. O desvio padrão foi realizado para demonstrar a dispersão estatística horária das concentrações, o mesmo calculado através da seguinte expressão: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - Média)^2}{(n-1)}}$. A partir dessas equações foram gerados gráficos utilizando o software Origin versão 8.5.

Para as variáveis meteorológicas (velocidade e direção do vento, radiação ultravioleta e radiação solar, temperatura, precipitação e umidade relativa do ar) a análise estatística foi baseada em dados da estação meteorológica que coletava dados a cada 10 minutos e dos dados simulados pelo modelo (WRF). Nos dados da estação foram realizadas algumas tabelas com médias horárias, padronizando aos das concentrações e do modelo atmosférico (WRF). Os gráficos foram realizados em dois softwares Excel 2007 e Origin 8.5. O próximo passo foi relacionar os dados das variáveis meteorológicas aos dados das concentrações obtidas, dessa forma foi possível observar e analisar seus mínimos e máximos e suas relações direta e inversa que ocorria nos período diurno e noturno.

Para o estudo de caso foi necessário dois dias distintos (um dia durante a semana e um dia durante o final de semana), esses dias foram escolhidos por alguns motivos em específico respectivamente, o primeiro por apresentar maiores níveis de concentrações e alto fluxo veicular e o segundo por apresentar menores níveis de concentrações e pouco fluxo veicular. Dessa forma, foi realizado desvios das dispersões horariamente, além de analisar o comportamento das variáveis em função dos compostos NO e NO₂. Ainda sim, para explicar melhor o que pôde definir esses dias como os mais e menos poluído foi necessário realizar uma contagem de veículos que transitava em proximidades da área de estudo.

Para a contagem de veículos foram feitas duas contagens através de um medidor em dois dias distintos uma durante a semana vista na tabela 16 e a outra ao final de semana demonstrada na tabela 17, logo em seguida, foi realizada média horária dos dados coletados, esses dados foram tabelados e relacionados com dados informados pela Secretaria Municipal de Transporte e Trânsito – SMTT. Com os resultados dos dados individuais, foram realizados estudos, relacionando as concentrações, as variáveis meteorológicas e os resultados da média

horária do número de veículos que transitam em proximidades da área de estudo, tendo como razão obterem os resultados e gerar perspectivas à respeito.

Tabela 16 - Fluxo veicular analisado em um dia de Quinta-Feira, 2011 (durante a semana)

Horas	Ônibus	Caminhão	Carro
05:30-06:00	102	60	576
06:00-07:00	302	144	3475
07:00-08:00	290	135	4737
08:00-09:00	305	185	2951
09:00-10:00	260	251	5919
10:00-11:00	220	216	4531
11:00-12:00	163	151	3742
12:00-13:00	223	162	4764
13:00-14:00	217	205	6379
14:00-15:00	222	182	7409
15:00-16:00	225	190	4696
16:00-17:00	200	258	6512
17:00-18:00	230	105	8930
18:00-19:00	272	193	6758
19:00-20:00	185	103	4512
20:00-21:00	120	93	3320
21:00-22:00	146	85	2315

Fonte: Autor, (2012)

Dados tabelados horariamente durante a semana, demonstrando os fluxos de ônibus, carros e caminhões que trafegam na Avenida Fernandes Lima.

Tabela 17 - Fluxo veicular analisado em um dia de Domingo, 2011.(final de semana)

Horas	Ônibus	Caminhão	Carro
05:30-06:00	51	5	125
06:00-07:00	145	2	110
07:00-08:00	152	15	258
08:00-09:00	87	48	554
09:00-10:00	130	22	831
10:00-11:00	110	97	1150
11:00-12:00	81	54	1005
12:00-13:00	111	30	576
13:00-14:00	108	10	1190
14:00-15:00	112	19	1845
15:00-16:00	100	34	2250
16:00-17:00	136	28	2758
17:00-18:00	92	16	3551

18:00-19:00	100	12	2475
19:00-20:00	60	45	456
20:00-21:00	73	15	245
21:00-22:00	43	35	85

Fonte: Autor, (2012)

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Concentrações médias de NO e NO₂

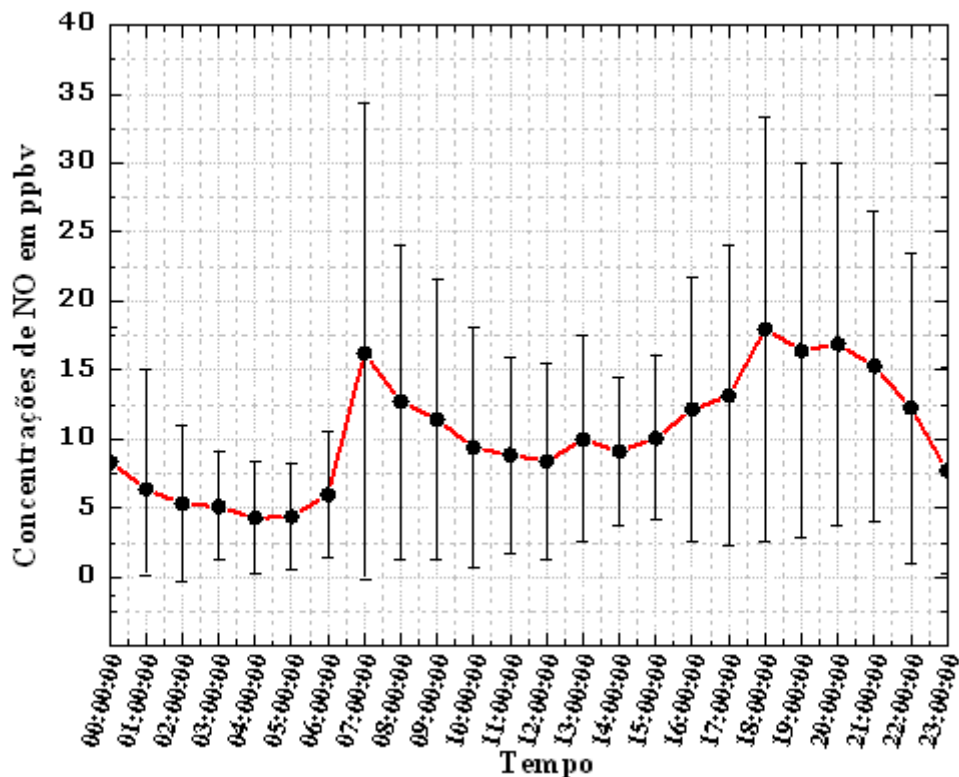
As concentrações dos óxidos nitrogenados se mostram sensíveis as condições meteorológicas as mudanças dessas variações ocorrem durante a semana e finais de semana.

O desenvolvimento de grandes cidades tem como consequência acompanhar essa tendência. Nas ruas o número de veículos tem aumentado significativamente, pois a necessidade de locomoção do homem faz parte da vida cotidiana da sociedade. O grande caos dessa quantidade de veículos, da manutenção desses veículos e do tipo de combustível utilizado por eles, está relativamente associado à emissão desses poluentes que em conjunto com as variáveis meteorológicas podem resultar em níveis de concentrações expressivas em áreas urbanas.

4.2 Ciclo médio horário das concentrações de NO

O ciclo médio horário da concentração de NO e o desvio padrão para cada hora está apresentado na figura 11. Seu valor máximo foi registrado no período noturno, as 18:00 horas com concentração de 17,5 ppbv tendo um desvio padrão de 14,8 ppbv. Percebe-se um valor mínimo de 4,8 ppbv com desvio padrão de 4,6 ppbv no horário das 05:00 da manhã.

Figura 11 - Média horária das concentrações de NO com desvios padrão para cada hora do período de Abril/Maio de 2011, Maceió-AL



Observa-se que o desvio padrão apresenta valores altos, isso quer dizer que o nível de dispersão é muito alto, mas como se trata de um poluente que sofre influências antrópicas e atmosféricas a cada minuto, pode se levar em consideração suas oscilações espaço-temporal.

4.2.1 Relação entre as variáveis meteorológicas e concentrações de NO.

- Velocidade e direção do vento

O regime de velocidade do vento do período em estudo apresentou ao final do intervalo diurno um ciclo médio horário, com valores máximos médio simulados de 3,9 m/s às 17:00 horas e mínimo de 1,5 m/s às 06:00 horas como mostra a figura 12. No período da noite apresentou valores com máxima simulados de 3,5 m/s às 18:30 horas e mínima de 1,8 m/s às 23:00 horas. Para a dispersão dos poluentes é necessário altas velocidades, só assim serão diluídos e levados para distante da fonte de emissão.

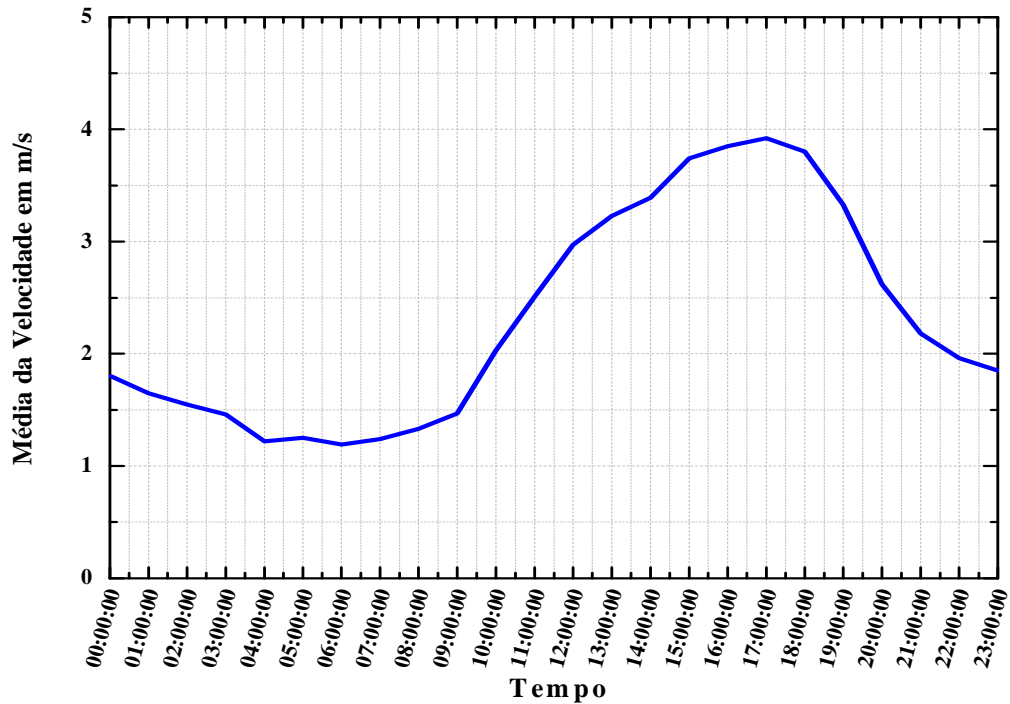


Figura 12 – Simulação do ciclo Médio horário da velocidade do vento para o período Abril/Maio de 2011, Maceió-AL.

Entretanto, quando isso não ocorre, é devido aos sistemas de alta pressão que se tornam estacionários proporcionando a redução da velocidade do vento e conseqüentemente os poluentes ficarão por mais tempo suspenso na atmosfera. No período estudado a direção predominante pelo dia encontrou-se dispersa entre 120° a 210° figura 13. Apontando supostamente uma dispersão para a mesma direção do período noturno como pode ser visto na 14.

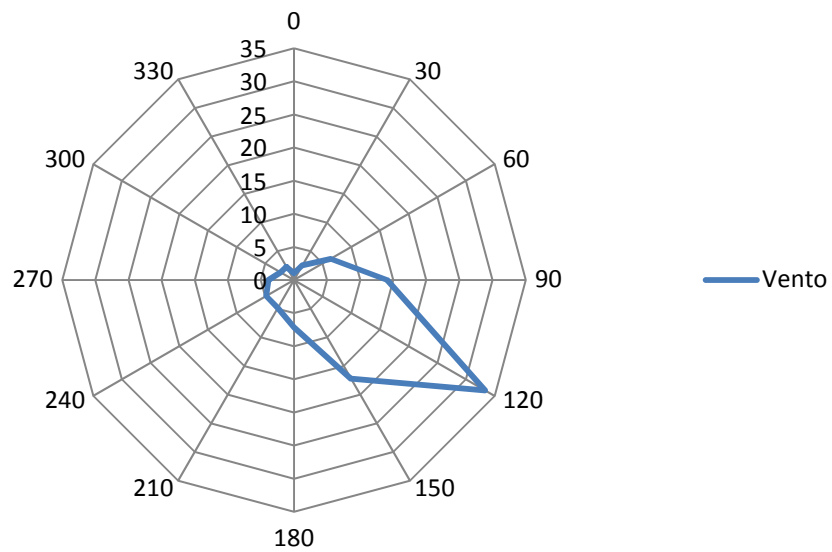


Figura 13 – Média diurna da direção do vento simulada durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió-AL.

No período noturno a direção assume sua total predominância entre 120° e 150°. Observa-se que a direção predominante encontra-se realmente dentro do quadrante suposto pela (BERNARDO e MOLION, 2000). A figura 14 demonstra o comportamento dessa direção durante o período noturno em (12) doze pontos representativos.

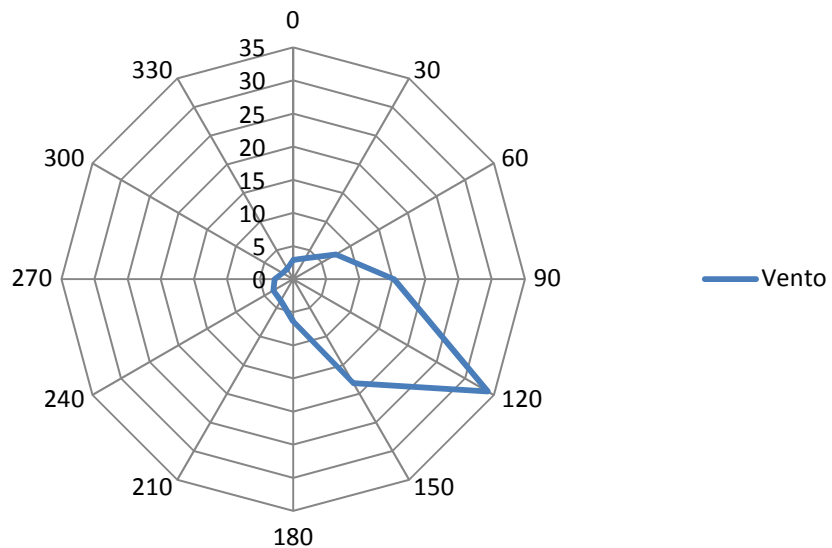


Figura 14 – Média noturna da direção do vento simulada durante o período Abril/Maio de 2011, Maceió-AL.

- Umidade Relativa do Ar

No período diurno os dados de umidade do ar são relativamente altos, apresentando valores acima de 98% no horário das 07:00 horas da manhã e proporcionando que haja mais concentração do monóxido de nitrogênio (NO) nesses horários. Observar-se que os níveis abaixam a partir das 09 horas paralelamente ao nível da umidade relativa que decai devido à incidência dos primeiros raios solares na superfície dando início a atividade fotoquímica, tendo em vista que no período noturno o nível de umidade volta a aumentar e propicia uma nova concentração.

Outro fator que pode vir a influenciar é a quantidade de veículos que trafegam nesse horário, durante os dias entre (segunda a Sexta) que impulsionam mais esses níveis de poluente na atmosfera.

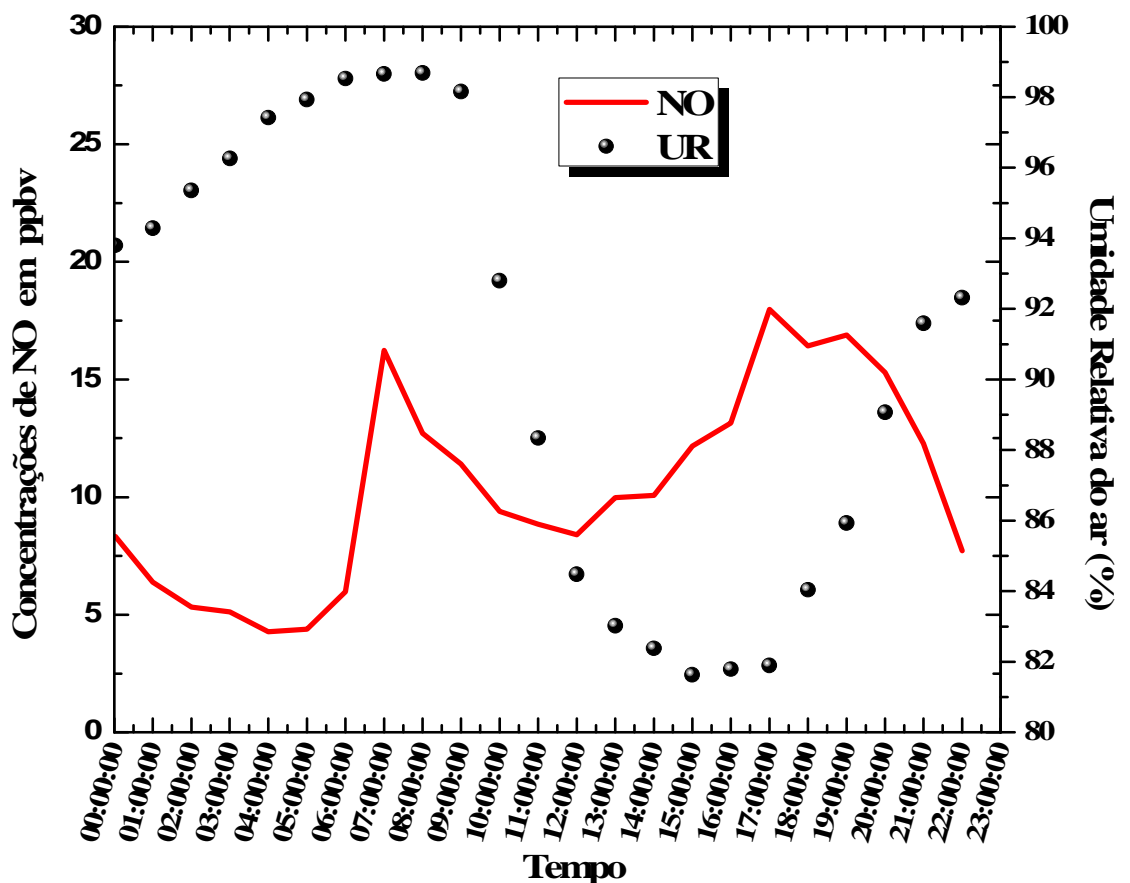


Figura 15 – Média das concentrações de NO em função da média simulada da umidade relativa do ar de Abril/Maio de 2011, Maceió-AL

A semelhança do aumento da concentração do NO em relação à umidade, ocorre devido à ausência de insolação solar, diminuição nos processos fotossintéticos realizados pelas plantas e da temperatura do ar, em decorrência disso há aumento da densidade do ar, e provavelmente uma maior estabilidade atmosférica, isso porque os movimentos verticais do vento são poucos tendo predominância os movimentos horizontais, proporcionando uma camada limite noturnas mais baixas que a camada diurna, estes resultados confirmam com os mesmos apresentados em um trabalho desenvolvido por (GALICHO e FORNARO, 2009).

- Radiação Solar

A relação entre a radiação solar e as concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) é inversa, pois, o aumento da radiação implica na redução do poluente, devido as suas reações químicas para a formação do ozônio (O₃) como é demonstrado na figura 16.

Observa-se que por volta das 09:00 horas o valor da radiação solar aumenta de 250 kJ/m² chegando a 2500kJ/m² no horário das 15 horas. Nesse mesmo período as concentrações de NO diminuem de 17 ppb(v) para 8 ppb(v) e mantém-se abaixo de 10 ppb(v) durante toda a atividade fotoquímica. Após as 17:00 horas as concentrações começam a aumentar, nesse mesmo intervalo de horas a umidade relativa do ar aumenta consideravelmente, conforme foi demonstrado na figura anterior.

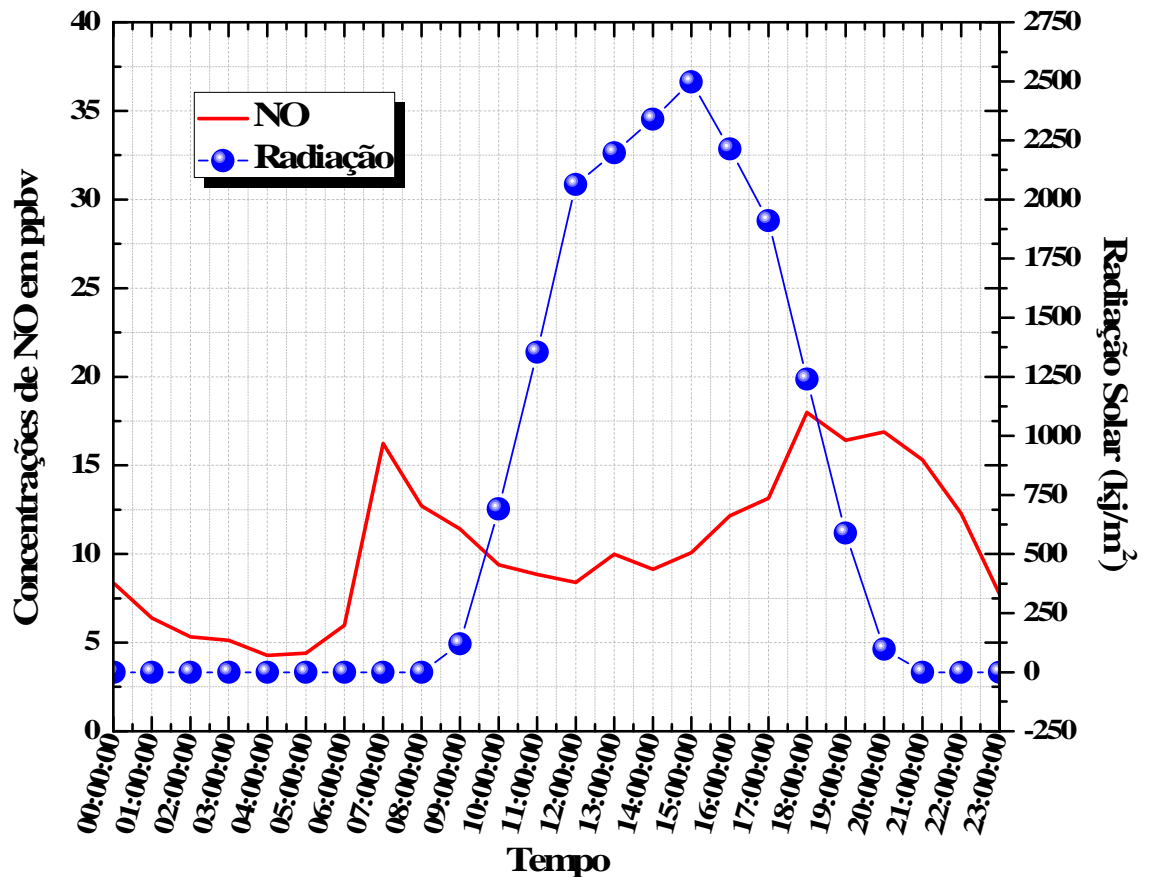


Figura 16 – Ciclo médio da concentração do NO e Radiação solar no período Abril/Maio de 2011, Maceió-AL

Em 2009 um estudo elaborado por GALICHO e FORNARO em São Paulo, relacionava as concentrações de NO e NO₂ com as variáveis meteorológicas em estações distintas (primavera, verão, outono e inverno). Os resultados obtidos para tais variáveis no período analisado foram semelhantes aos da pesquisa realizada pelos autores. Tendo em vista que as concentrações diminuem quando se tem presença de muita radiação e aumentam quando a umidade e o fluxo de veículos são considerados relevantes

Sendo assim os horários noturnos obtiveram maiores níveis de concentração, porém, ressaltando que o pico das concentrações as 07:00 horas visto na maioria das figuras, é uma relação estritamente antrópica.

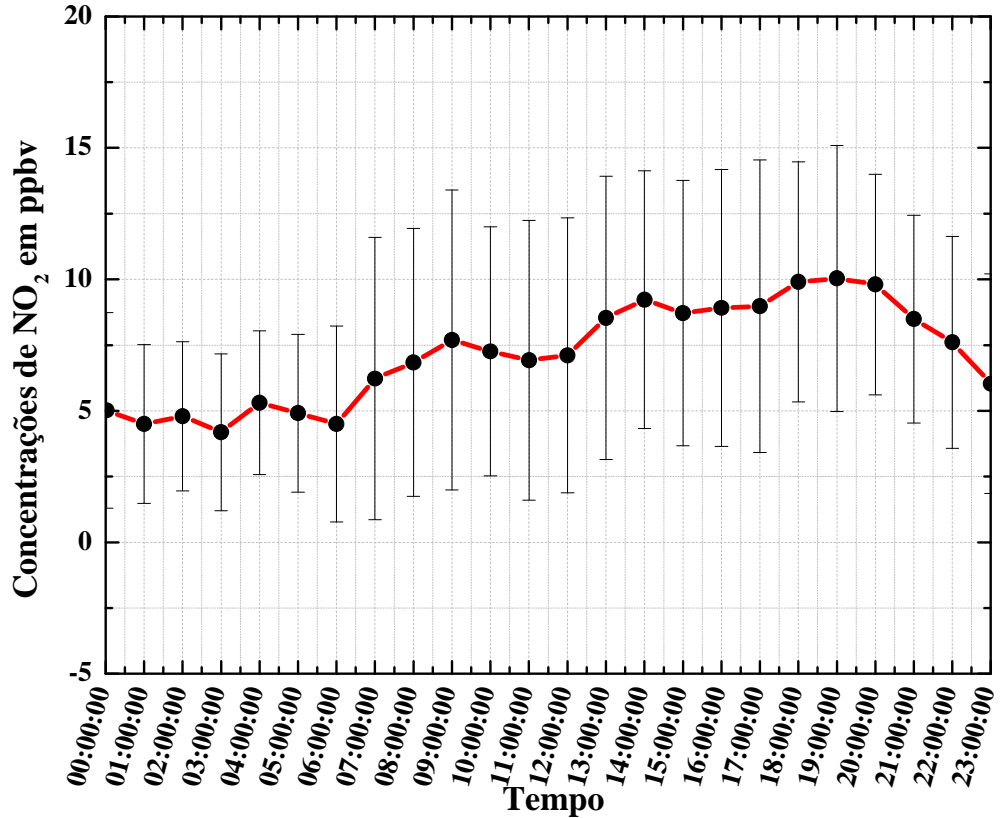
Uma explicação viável também para o alto nível de concentração de NO durante a noite, pode ser relacionado a altura da Camada Limite Atmosférica-CLA ou Camada Limite Planetária-CLP. Pois durante o inverno a camada tende a ficar mais baixa, e isso proporciona o acúmulo de poluentes. Camadas de inversão térmica devido à estabilidade atmosférica impedem ainda mais essa dispersão durante o período da noite.

4.3 Ciclos médio horário das concentrações de NO₂

O dióxido de nitrogênio (NO₂) poluente primário e secundário que apresenta níveis de concentrações mais baixos que o NO. Segundo a Tabela 5 visualizada no item 2.2 da revisão bibliográfica vimos que varia o tempo que o NO leva para oxidar em NO₂, dependendo exclusivamente da quantidade que é lançada.

A partir do meio dia para o final da tarde analisasse o crescimento dos níveis de NO₂, observa-se na figura 17 que é as 19:00 horas onde ocorre a maior concentração, com 10,1 ppbv e desvio padrão de 10 ppbv e sua mínima se concentrou no horário das 03:00 horas com valor de 4,8 ppbv e desvio de 5 ppbv.

Figura 17 – Ciclo médio horário de NO₂ no período Abril/Maio de 2011, Maceió-AL.



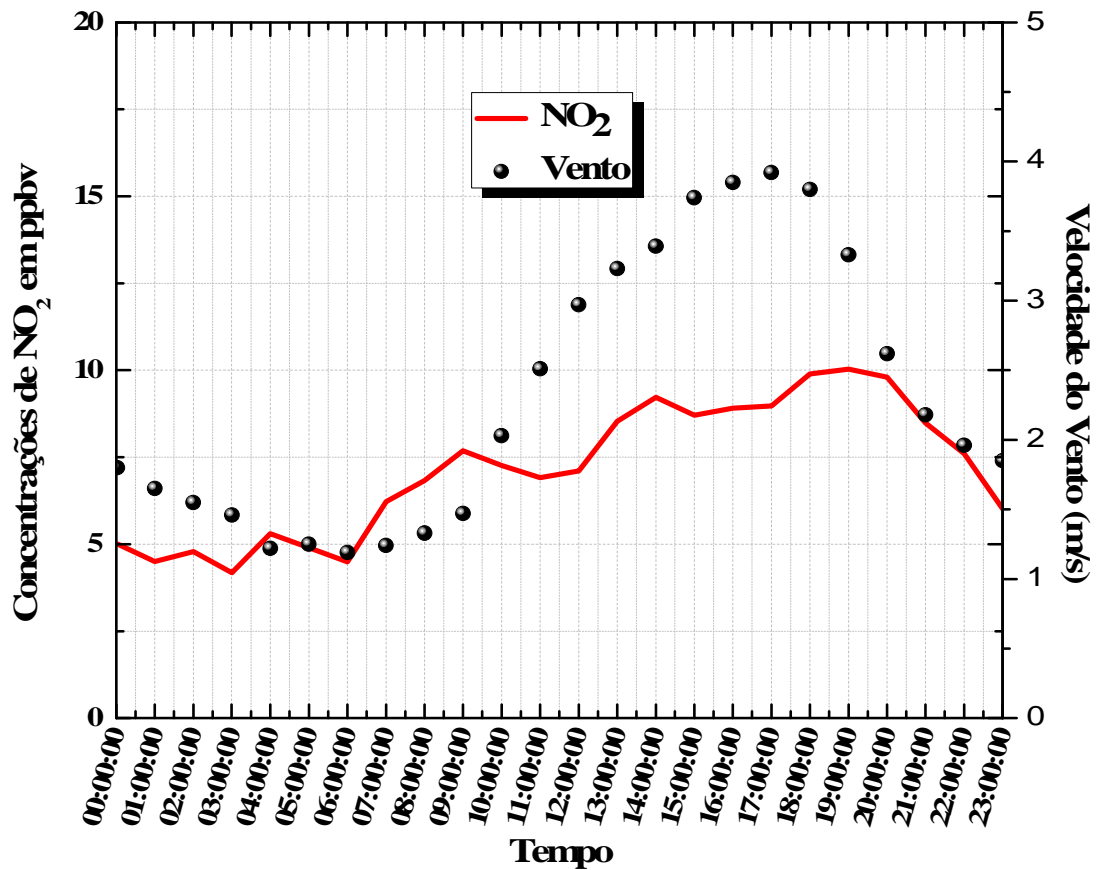
Fonte: Autor (a), 2012

4.3.1 Relação entre as variáveis meteorológicas e concentrações de NO₂

- Velocidade do Vento

A velocidade do vento durante o período estudado teve sua máxima ao final da tarde. Sua máxima foi de 3,8 m/s as 17:00 horas, onde as concentrações apresentaram níveis relativamente considerados quando comparados com o período da manhã, como demonstra a figura 18.

Figura 18 – Ciclo médio horário das concentrações de NO₂ e média da velocidade do vento durante o período de Abril/Maio de 2011, Maceió-AL



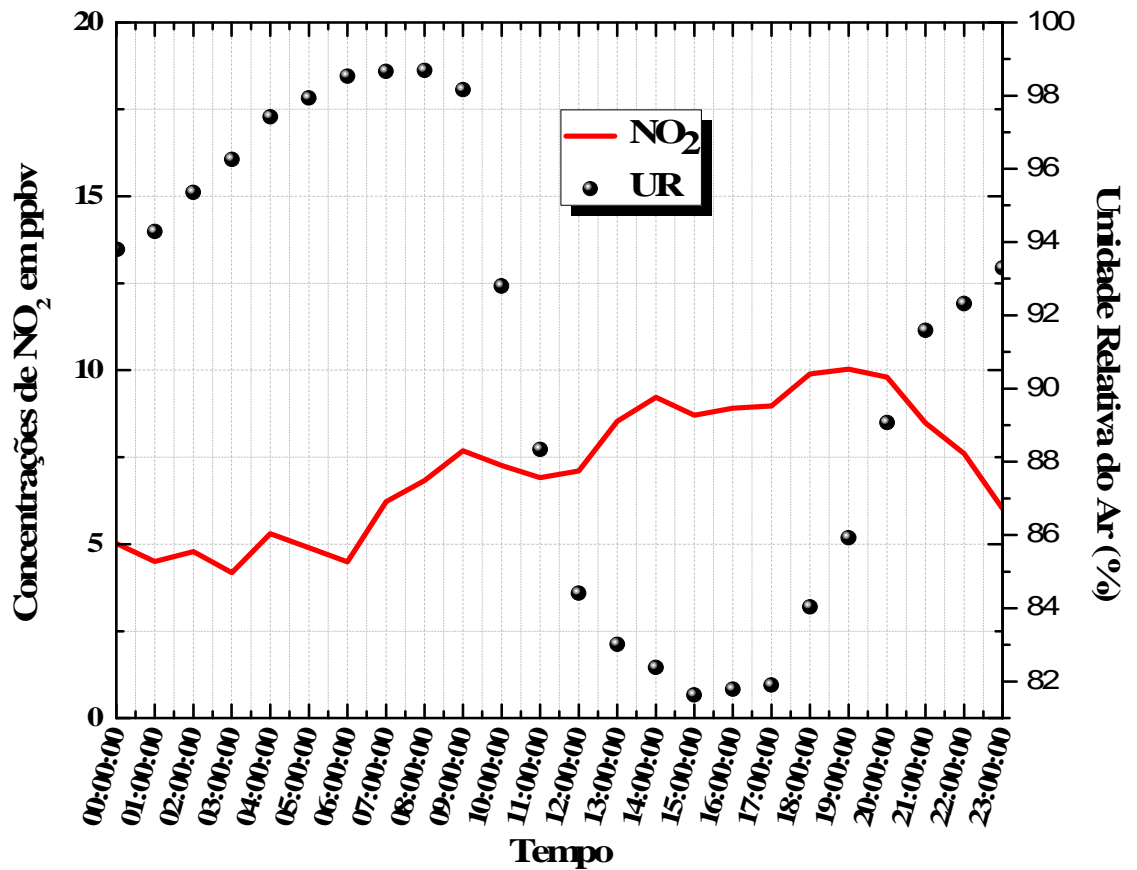
Fonte: Autor(a), 2012

Observa-se que a velocidade é considerada baixa para sua dispersão, mesmo tendo em vista que os valores de NO₂ são considerados baixo para a saúde humana, porém com efeito relevante quando a um determinado período. De acordo com a Environmental Protection Agency-EPA dos Estados Unidos da América, (1980) uma quantidade $\leq 0,05$ a longo período pode evidenciar em doenças pulmonares e do coração.

- Umidade relativa do ar

Esse aumento noturno da concentração de NO₂ também está associado à alta umidade relativa do ar como demonstra a figura 19 que tem mínima de 80% e máxima de 98,6%. Em interação com o poluente funcionam como núcleo de condensação, propiciando o maior acúmulo ao final da tarde e durante a noite.

Figura 19 – Ciclo médio horário das concentrações de NO_2 e média da umidade relativa do ar durante o período de Abril/Maio de 2011, Maceió-AL



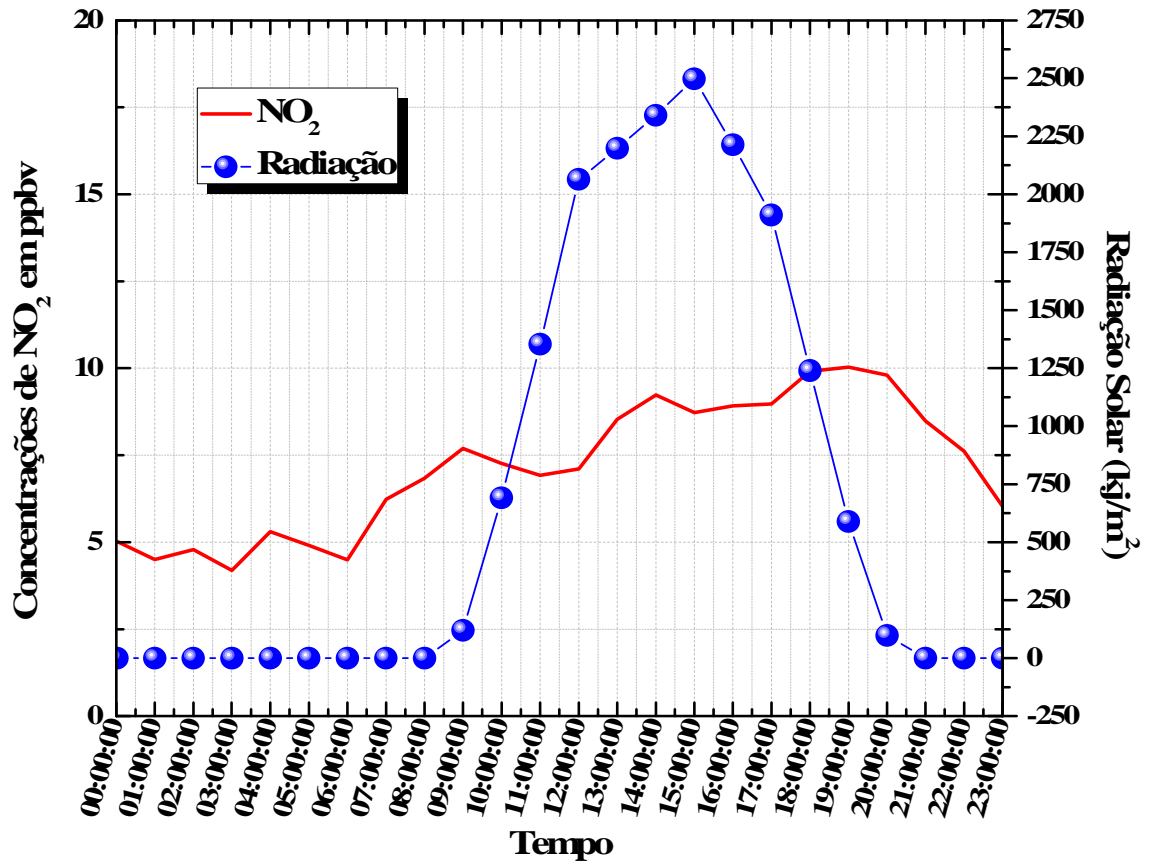
Fonte: Autor(a), 2012

- Radiação Solar

A fotólise de NO_2 inicia a formação do ozônio na troposfera (O_3), o produto desta reação, o NO, reage rapidamente com o O_3 para regenerar o NO_2 , ou seja, esse composto sempre está presente na atmosfera. Ao absorver radiação, o composto NO_2 fotodissocia regenerando para NO mais um átomo de oxigênio em estado fundamental, ou seja, o nível de mais baixa energia. Essa típica situação leva a baixos níveis de concentrações durante o dia e níveis maiores durante a noite.

A figura 20 mostra que a concentração de NO_2 e radiação solar tiveram comportamento fora de situações típicas, ou seja, à medida que a radiação aumentou o NO_2 aumentou. O que possivelmente pode explicar essa situação é a proximidade do local de monitoramento a fonte de emissão.

Figura 20 – Ciclo médio horário das concentrações de NO_2 e média da radiação solar durante o período Abril/Maio de 2011, IBAMA-AL.



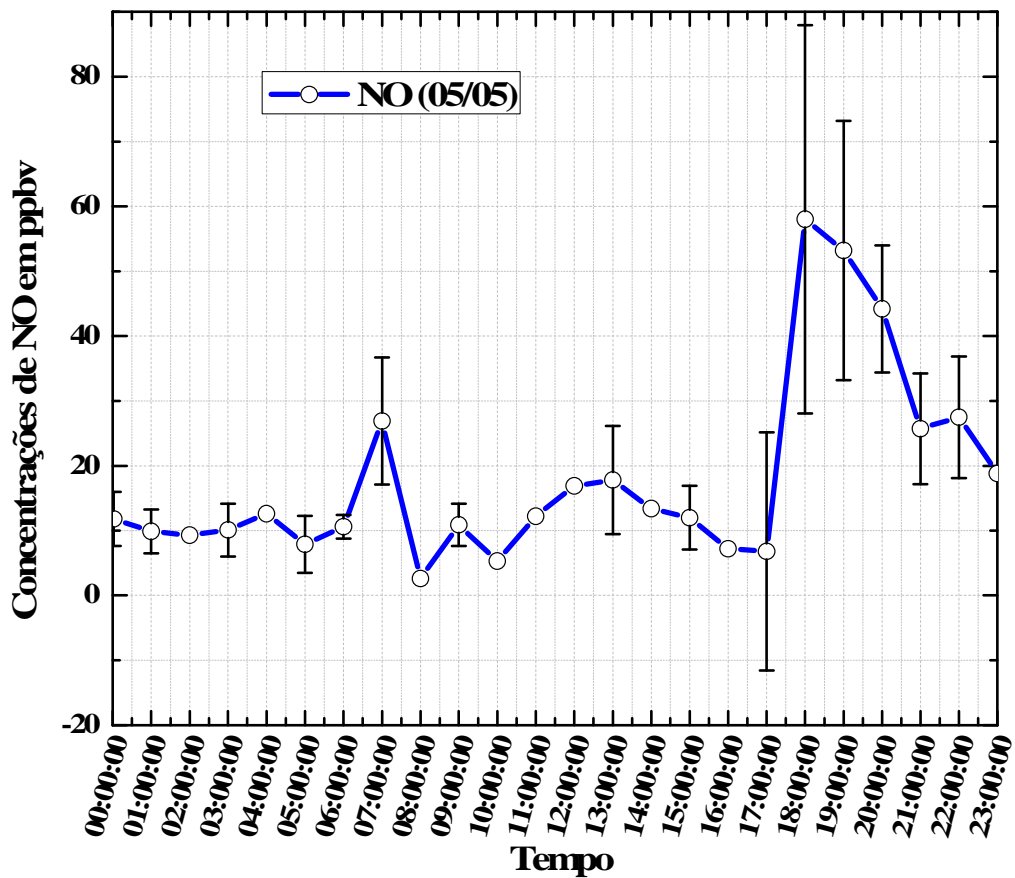
Fonte: Autor (a), 2012

4.4 Estudo de caso

4.4.1 Estudo de caso em um dia de semana

Para análise de estudo de caso foram selecionado dois dias em especial (05/05/2011 quinta-feira e 08/05/2011 domingo). A figura 21 demonstra o comportamento dessas emissões no dia corrido durante a semana 05/05/2011.

Figura 21 - Ciclo médio horário do monóxido de nitrogênio (NO), com os respectivos desvios padrão no dia 05 de Maio de 2011, Maceió-AL



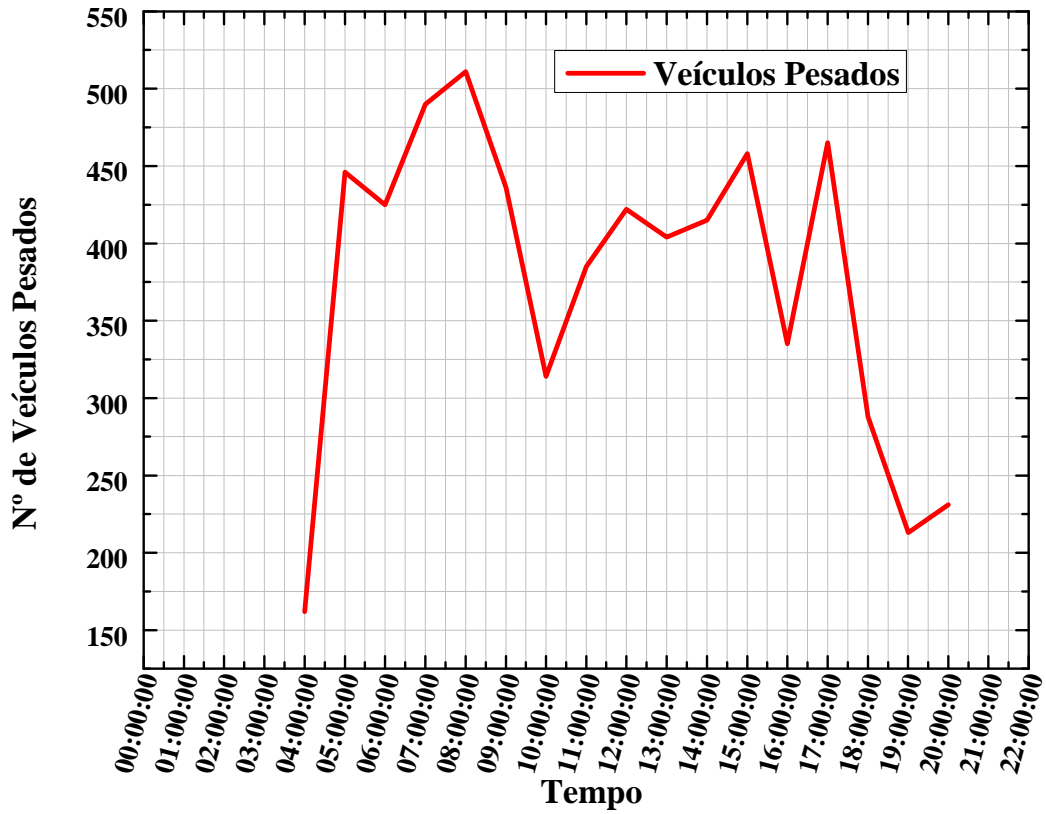
Fonte: Autor (a), 2012

Na figura 21 o valor máximo da média horária de concentração de NO ocorreu às 18:00 horas com 58 ppbv e desvio padrão de 29 ppbv, enquanto que o mínimo ocorre às 08:00 horas com 2,6 ppbv e desvio padrão de 0 ppbv. Observa-se que no período noturno obteve maior concentração, duas vertentes podem explicar essa situação, a primeira, por se tratar de um horário de grande fluxo de pesados (figura 22) e veículos leves (figura 23), pois se pode deduzir que nesse horário, boa parte do expediente de trabalho de muitas pessoas chega ao fim e os mesmos tendem a se locomover para suas residências. Como citado, essa é uma via de acesso para diversos bairros da cidade de Maceió, tendo como consequência nesse período constante engarrafamento.

Com base em relatórios da (CETESB, 2006) e dados coletados pela mesma fonte, o monóxido de nitrogênio (NO) é um poluente que não possui padrão legal de qualidade e sua maior parte é originada de veículos movidos a diesel. Porém é muito importante no ciclo fotoquímico do ozônio (O₃).

Na figura 22 está expressa a média horária durante um dia do fluxo de veículos pesados que são movidos a diesel. Segundo a (CETESB,2008) os veículos pesados são responsáveis por 67,2% do NO_x emitido na atmosfera. Quando relacionado com os dados de concentração de monóxido de nitrogênio verificados em resultados anteriores, notasse a influência que o fluxo de veículos tem durante todo o dia e em horários onde o fluxo está mais acentuado.

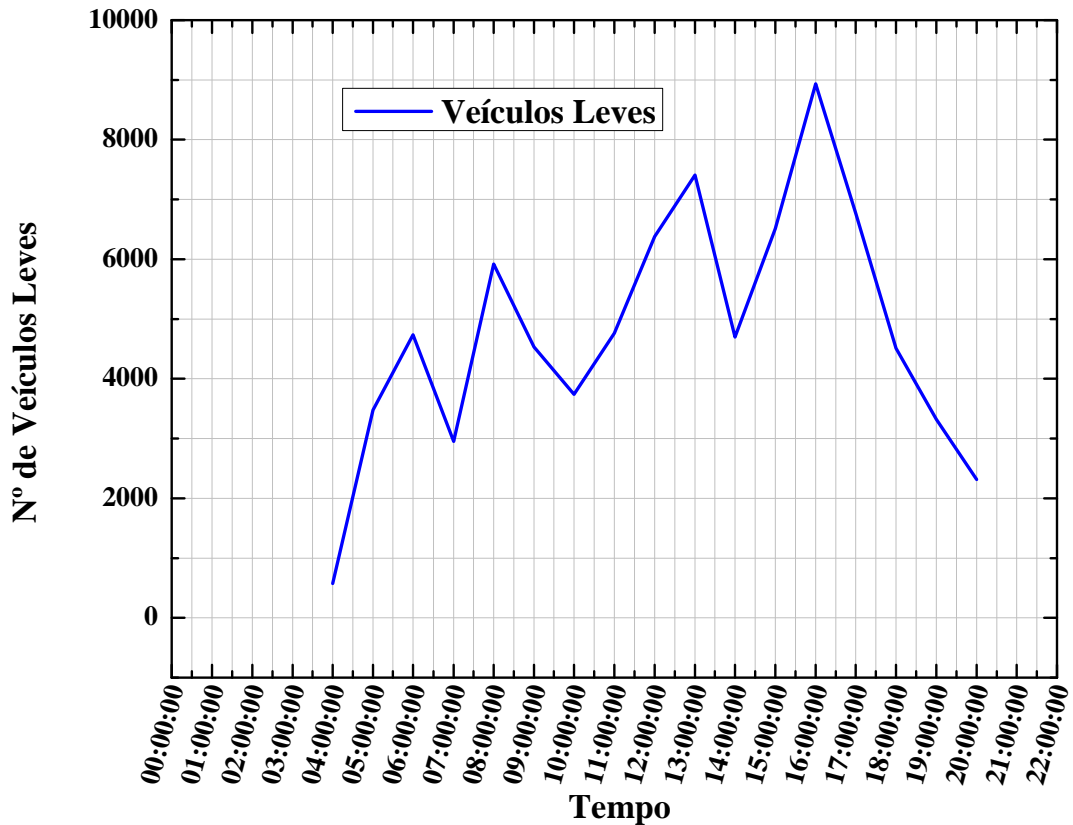
Figura 22 – Média horária do fluxo de veículos pesados na área de estudo durante a semana. Maceió-AL, Maio de 2011.



Fonte: Autor(a), 2012

Como observado os dois horários de maior influência da emissão dos veículos pesados é no início da manhã as 07:00 horas e ao final da tarde as 18:00 horas, onde tem-se dois picos bem definidos e bem relacionados aos níveis de concentração do (NO).

Figura 23 – Média horária do fluxo de veículos leves na área de estudo durante a semana. Maceió-AL, Maio de 2011



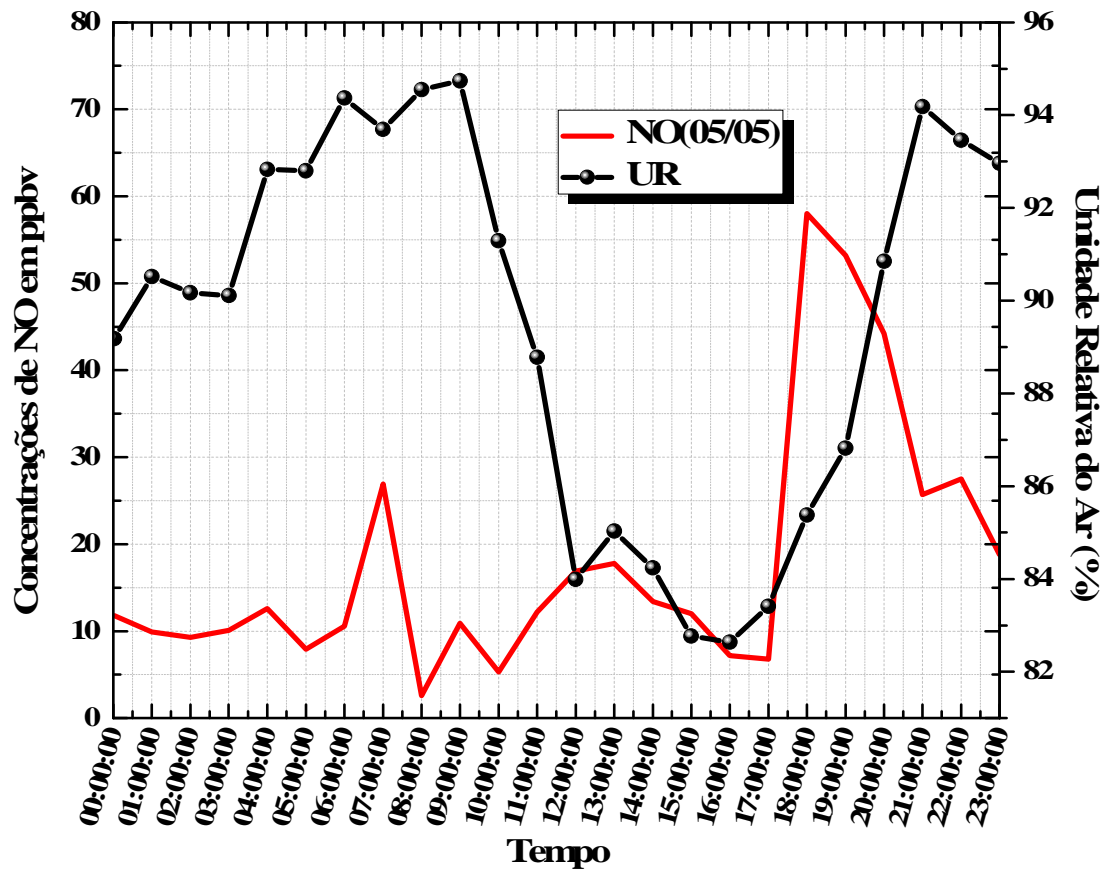
Fonte: Autor(a), 2012

Nos veículos leves o número é bem elevado quando comparado ao número de veículos pesados. Seu pico ocorre no período da noite as 18:00 horas com uma quantidade de 9.000 veículos transitando por hora, já pela manhã as 08:00 horas seu número chega a 6.000 veículos por hora.

Para o NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) os veículos leves não apresentam grande relevância, pois segundo a CETESB, (2008) os níveis de emissão é considerado baixo, chegando a 13,3% de NO_x emitido, sua maior participação é a produção do monóxido de carbono (CO) com 75,6% e compostos orgânicos (HC) com 56,6%.

Outro fator que condiciona essa situação segundo (LEDBETTER, J. O 1972) é que no período em que se tem alta umidade esses compostos tendem a se acumular devido às baixas temperaturas e ausência de radiação solar. A figura 24 demonstra claramente que durante o período noturno a umidade aumenta proporcionando essa aglomeração.

Figura 24 – Média horária das Concentrações de NO e Umidade relativa do ar em Maceió-AL no dia 05 de Maio de 2011

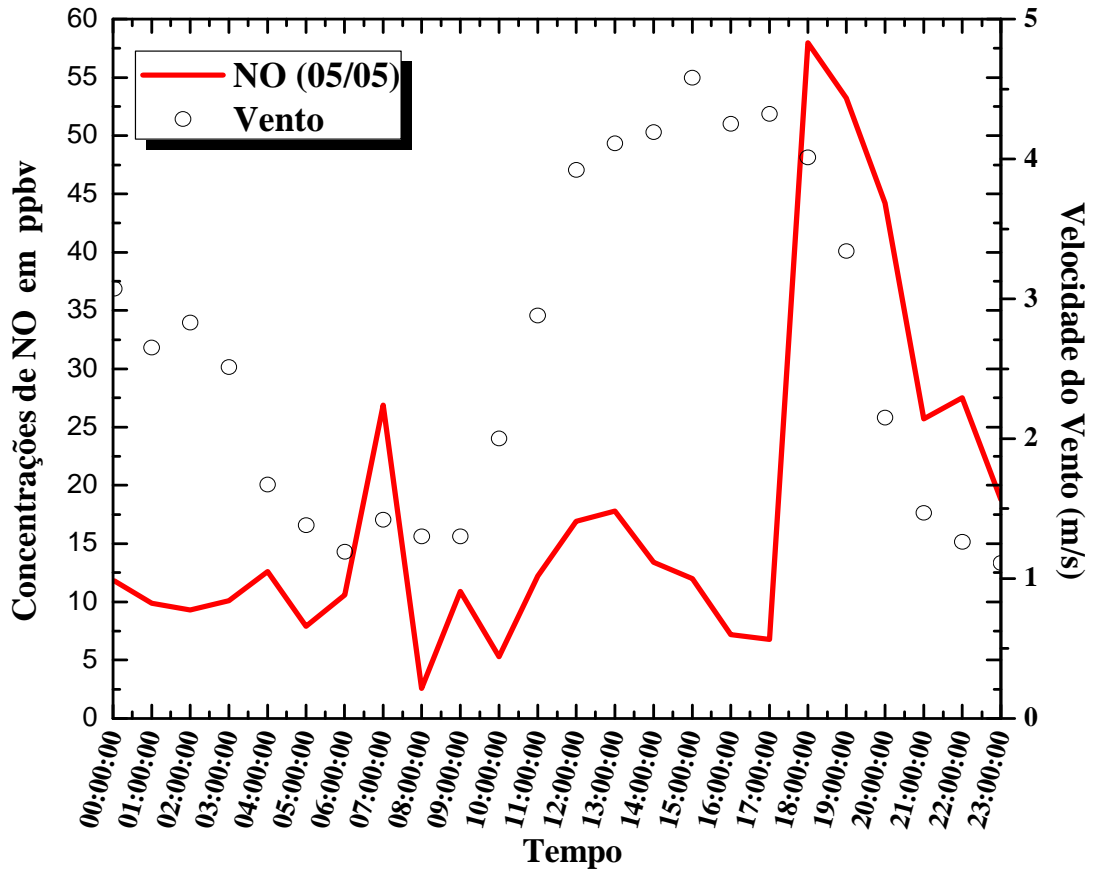


Fonte: Autor (a), 2012

Além disso, a baixa velocidade do vento também pode influenciar nesse acúmulo, e nesse período (Abril-Maio) ao qual foi realizado o estudo a velocidade tende a ser mais baixa.

Essa baixa velocidade não permitiu a dispersão desse material para outras áreas, para esse dia o registro da média da velocidade foi de 2,73 m/s e para o intervalo onde foi registrado o pico máximo às 18:00 horas a velocidade apresentada foi de 4,1 m/s, e declina mais durante a noite, proporcionando ainda mais o acúmulo desses poluentes, como demonstra a Figura 25.

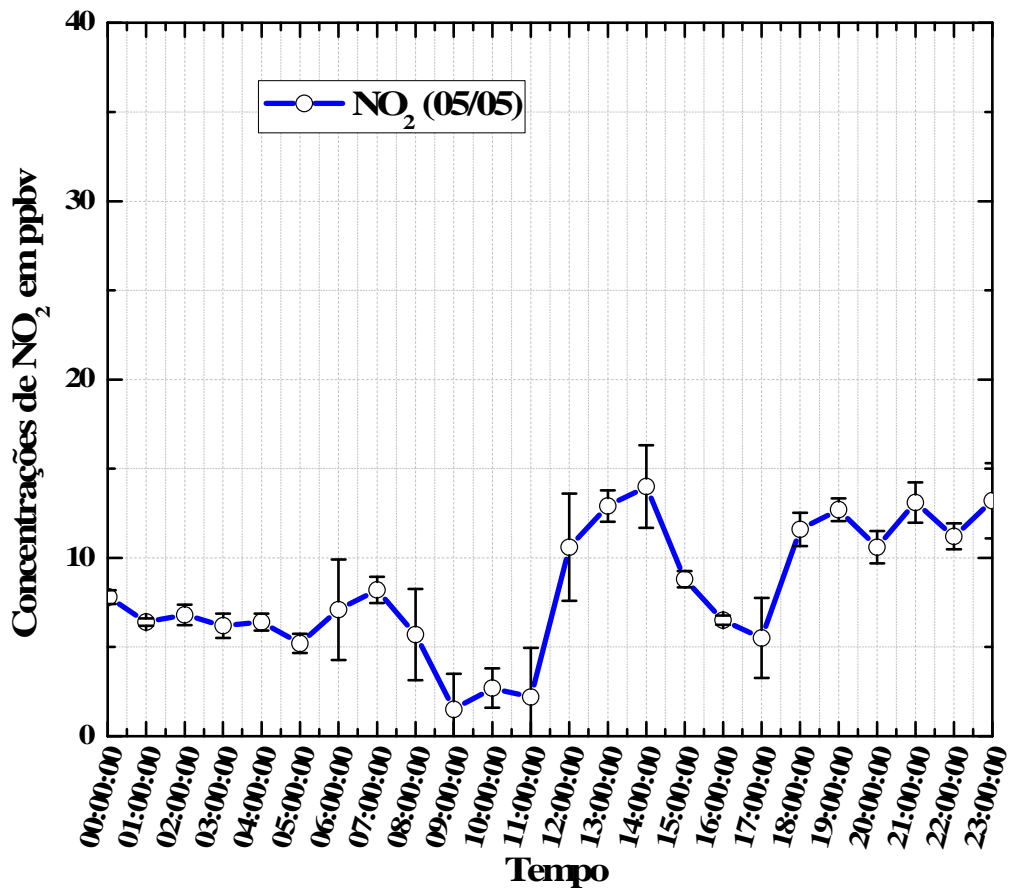
Figura 25 – Média horária das concentrações de NO e velocidade do vento em Maceió-AL, para o dia 05 de Maio de 2011



Fonte: Autor(a), 2012

A variabilidade dos dados do poluente secundário NO_2 , é bem menor quando comparada ao do monóxido de nitrogênio. Isso provavelmente ocorre devido ao processo fotoquímico, pois como o (NO) é um composto que reage diretamente e não está presente na atmosfera seu nível de concentração além de ser similar ao fluxo é superior como citam IRIBARNE & CHO (1980).

Figura 26 – Média horária das concentrações de NO₂ e seus respectivos desvios padrão em Maceió-AL, para o dia 05 de Maio de 2011.

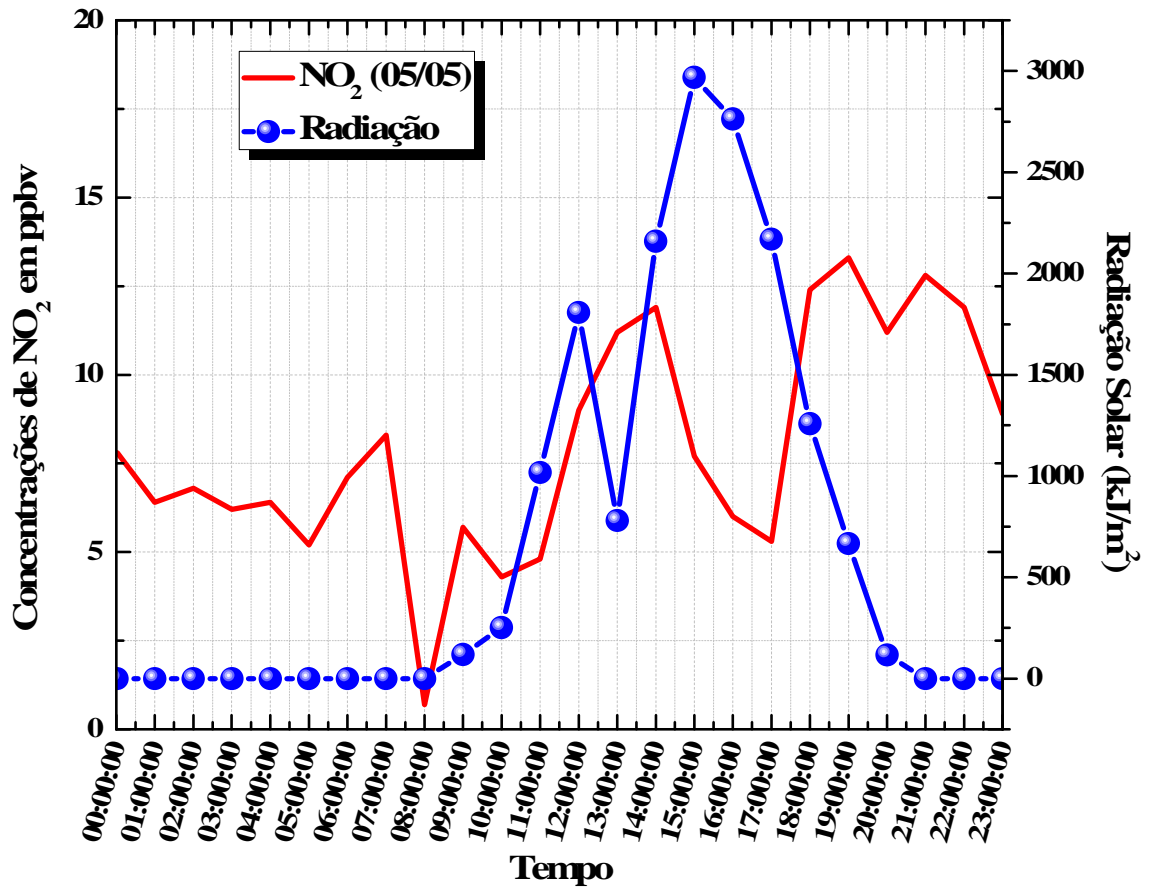


Fonte: Autor(a), 2012

A figura 26 demonstra o comportamento dessas emissões no dia 05/05/2011 onde seu nível máximo de concentração ocorreu as 14:00 e chegou a 14 ppbv com desvio padrão de 2,31 ppbv, o mínimo desse dia ocorre as 09:00 horas com valor de 1,5 ppbv e desvio padrão de 2 ppbv. Esse aumento da concentração de NO₂ no período noturno entre (17:00-19:00 horas) pode estar relacionado a ausência de radiação solar visto na figura 27.

Porém, a diminuição da concentração do NO₂, no intervalo de 20:00 horas pode ser relacionado a reações fotoquímicas, por exemplo, reação com radicais para produzir ácido nítrico, que posteriormente pode sofrer remoção por deposição seca ou úmida ao longo da noite, FINLAYSON-PITTS E PITTS JR, (2000).

Figura 27 – Média horária das concentrações de NO₂ e radiação solar em (KJ/m²) em Maceió-AL, para o dia 05 de Maio de 2011.

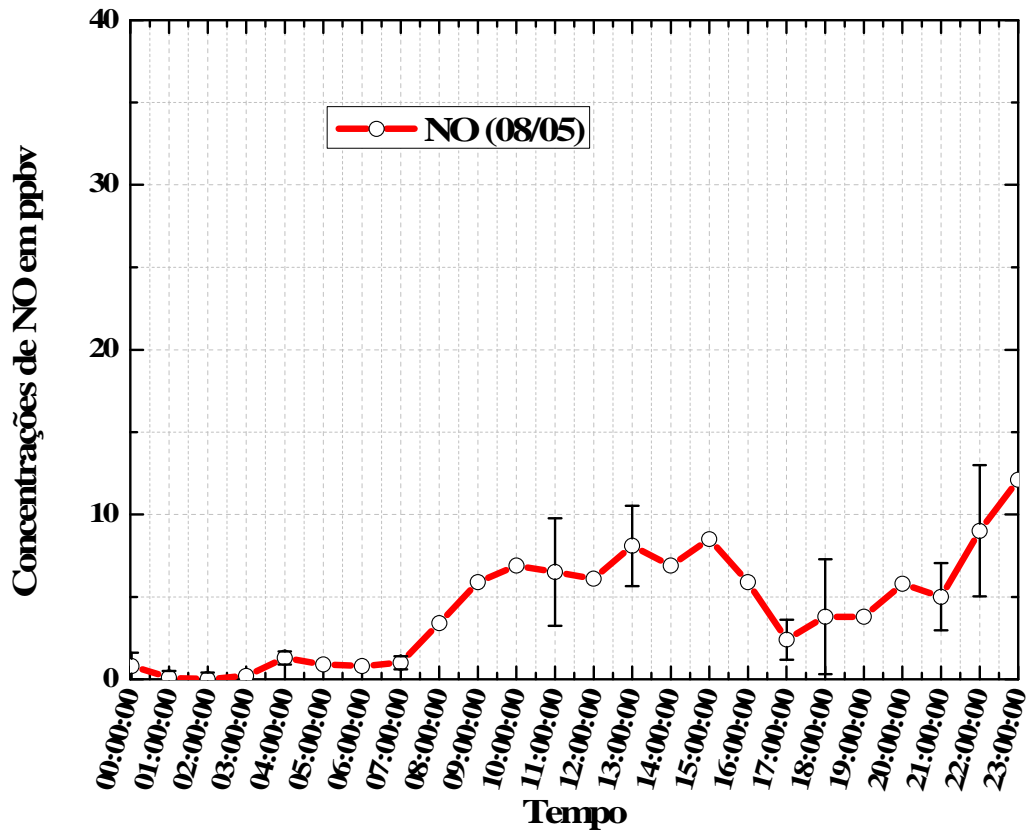


Fonte: Autor (a), 2012

4.4.2 Estudo de caso em um dia de final de semana

A figura 28 abaixo é um dia de domingo (08/05/2011), esse dia apresenta um baixo fluxo de veículos pesados e leves e conseqüentemente menos lançamento de NO na atmosfera.

Figura 28 - Ciclo médio horário do monóxido de nitrogênio (NO), com os respectivos desvios padrão em Maceió-AL, no dia 08 de Maio de 2011

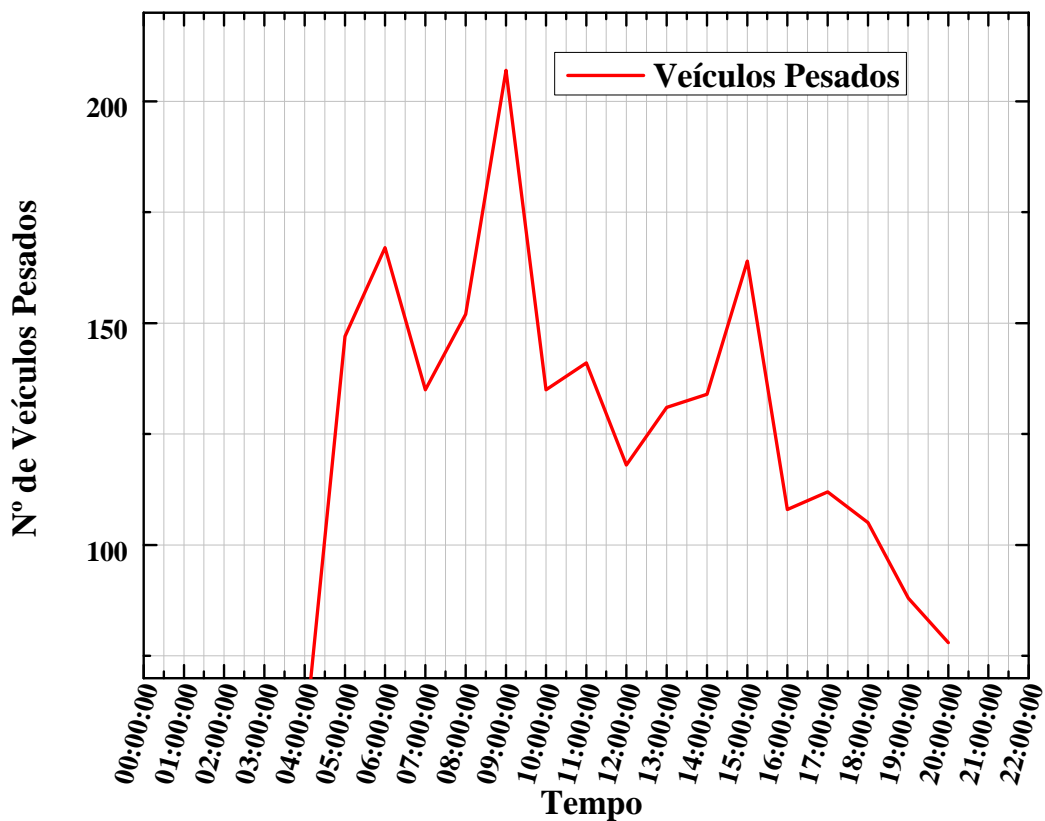


Fonte: Autor (a), 2012

O pico máximo medido pelo instrumento para esse dia ocorreu às 23:00 horas com o valor de 12,1 ppbv e seu desvio padrão de 0 ppbv, o seu pico mínimo ocorre às 02:00 horas com valor de 0 ppbv e desvio padrão de 0 ppbv. O dia 08/05/2011 obteve monóxido de nitrogênio (NO) abaixo do nível de concentração encontrado no dia (05/05/2011) onde consequentemente o fluxo foi relevante.

Durante os finais de semana os fluxos de veículos são menos expressivos o que ocasiona menos emissão de NO na atmosfera favorecendo a formação de ozônio (O_3), uma vez que, o ozônio consome os óxidos nitrogenados. Como é visto na figura 29 o maior valor apresentado durante o final de semana ocorre as 09:00 horas da manhã com 207 veículos pesados transitando por hora, sendo esse fluxo ainda mais negativo ao decorrer do dia.

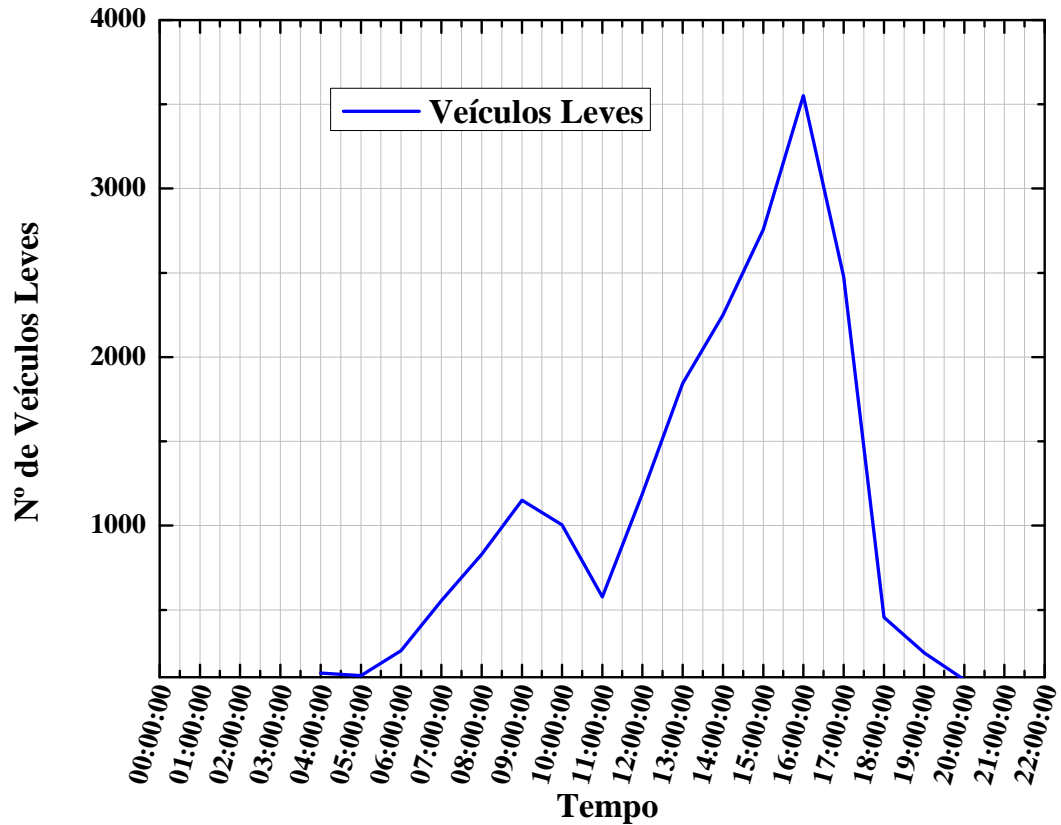
Figura 29 – Média horária do fluxo de veículos pesados na área de estudo durante a semana em Maceió-AL, Maio de 2011.



Fonte: autor(a), 2012

Porém os veículos leves já apresentam resultados contrário, tendo seu pico no horário da noite as 18:00 horas com 3.551 veículos e baixos valores durante o dia, como pode ser observado na figura 30.

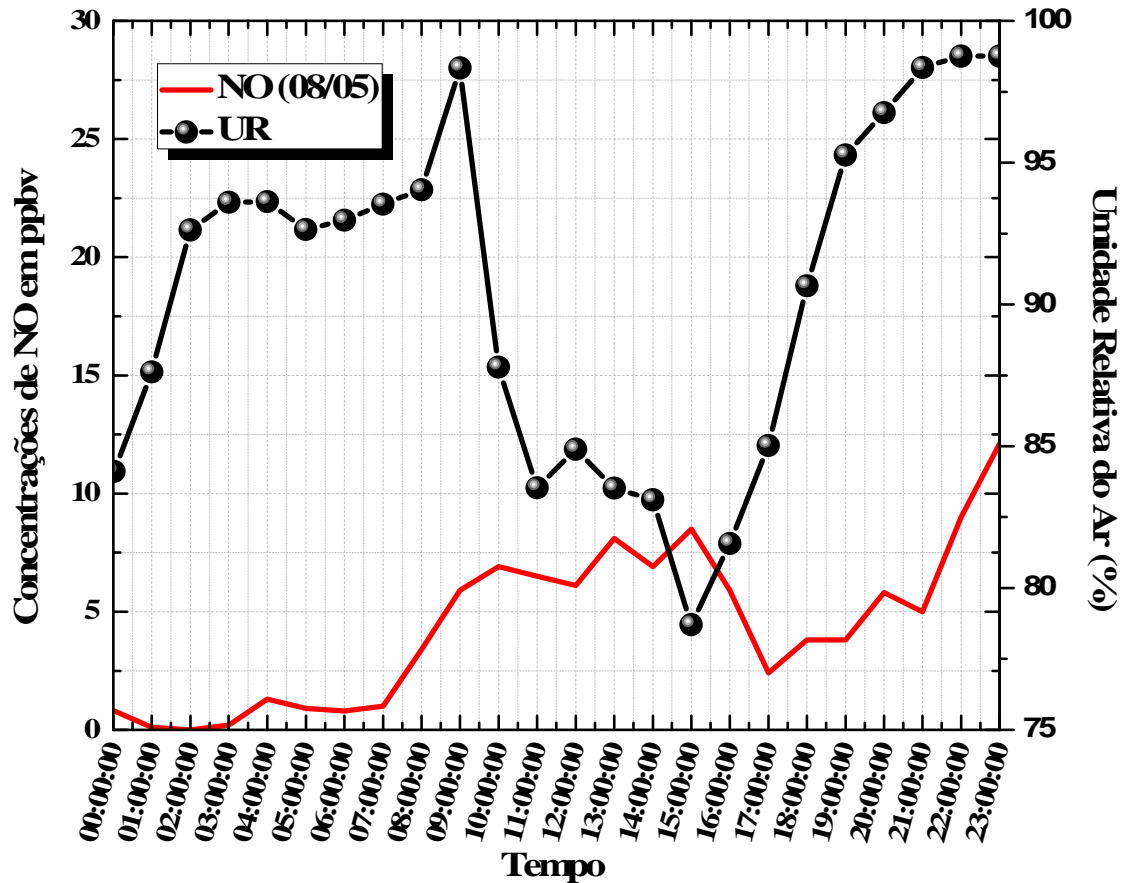
Figura 30 – Média horária do fluxo de veículos leves na área de estudo durante o final de semana em Maceió-AL, Maio de 2011.



Fonte: autor(a), 2012

De acordo com a figura 31 o fato da concentração apresentar seu pico ao final da noite pode estar relacionado com a diminuição da Camada Limite Planetária CLP, contribuição do resfriamento atmosférico durante o período noturno com consequente aumento da umidade relativa que atinge o valor de 97%, como também pela liberação de água H₂O devido à respiração das plantas.

Figura 31 – Média horária das Concentrações de NO e Umidade relativa do ar em Maceió-AL no dia 08 de Maio de 2011

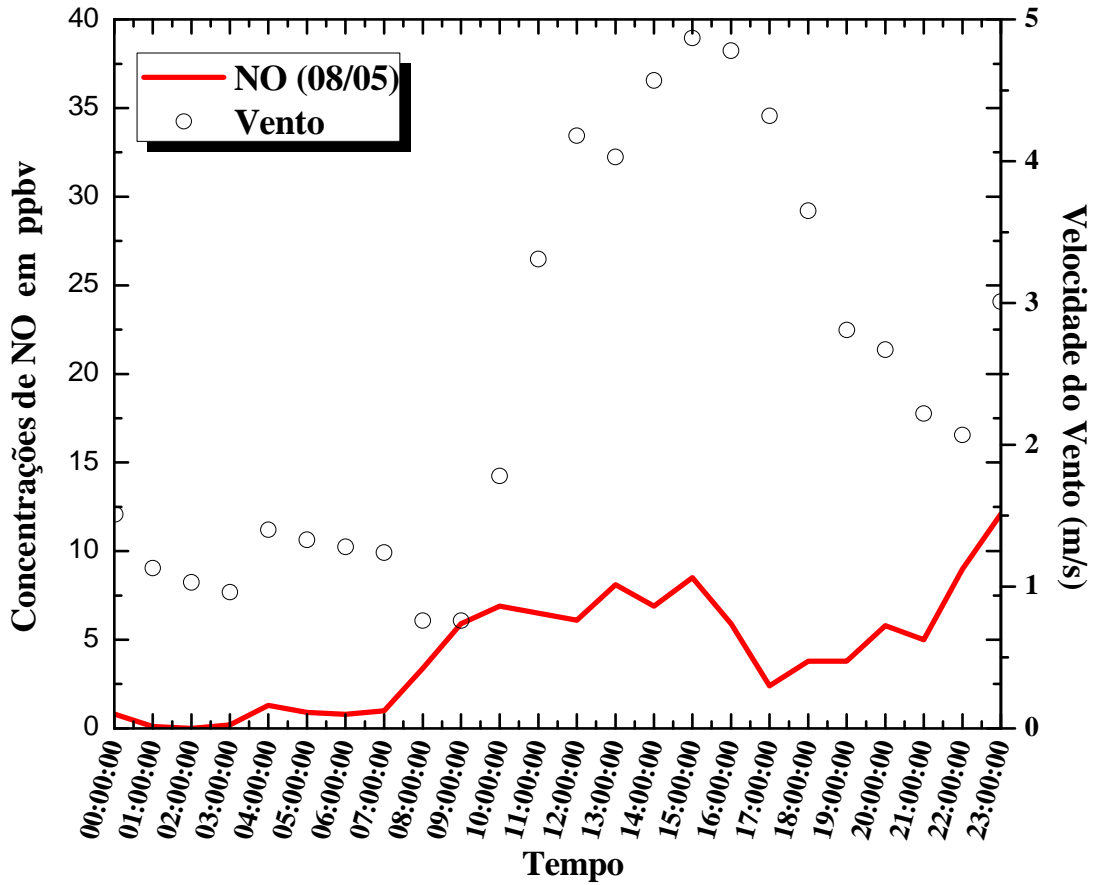


Fonte: autor(a), 2012

A figura 32 demonstra que o ciclo médio horário da velocidade de vento para esse dia foi de 2,54 m/s, considerado baixo e para o horário de concentração máxima as 23:00 horas foi de 3,01 m/s.

Isso significa que essa velocidade apresenta valores bem inferiores e não propicia a dispersão do monóxido, porém como os valores lançados foram inferiores de um dia comum (dia de semana) existe pouco material para ser disperso.

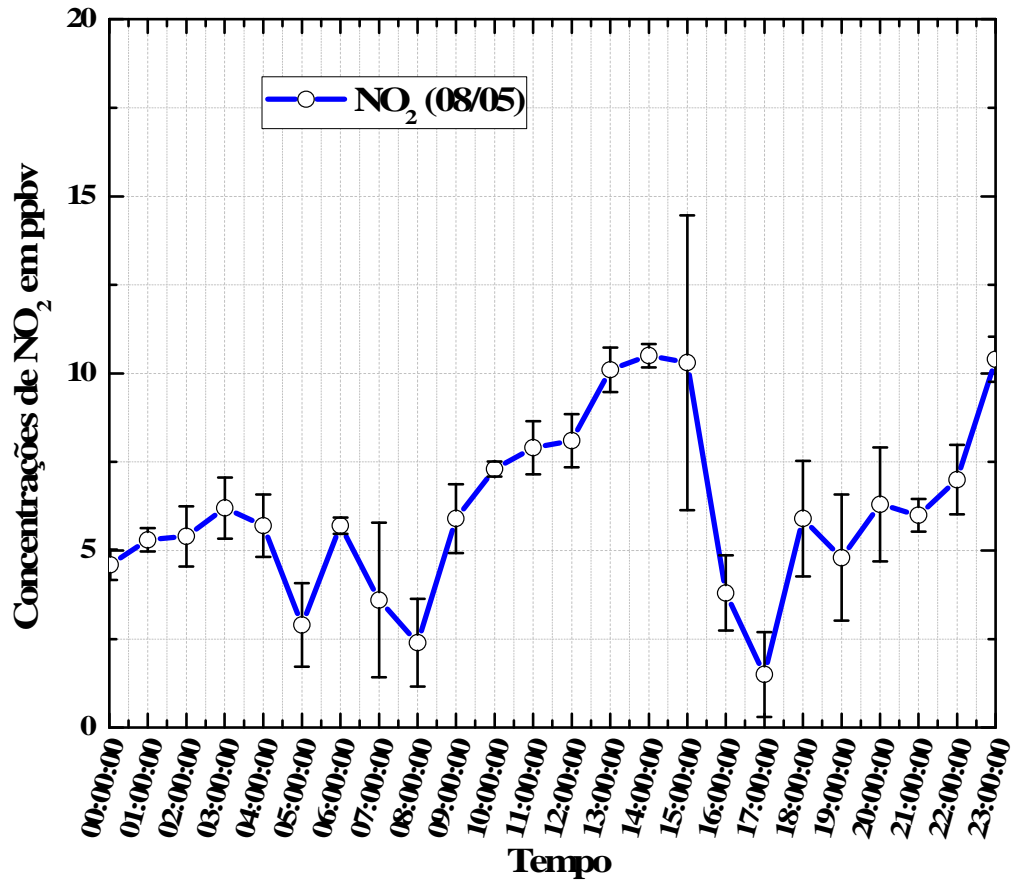
Figura 32 – Média horária das concentrações de NO e velocidade do vento para Maceió-AL o dia 08 de Maio de 2011



Fonte: autor(a), 2012

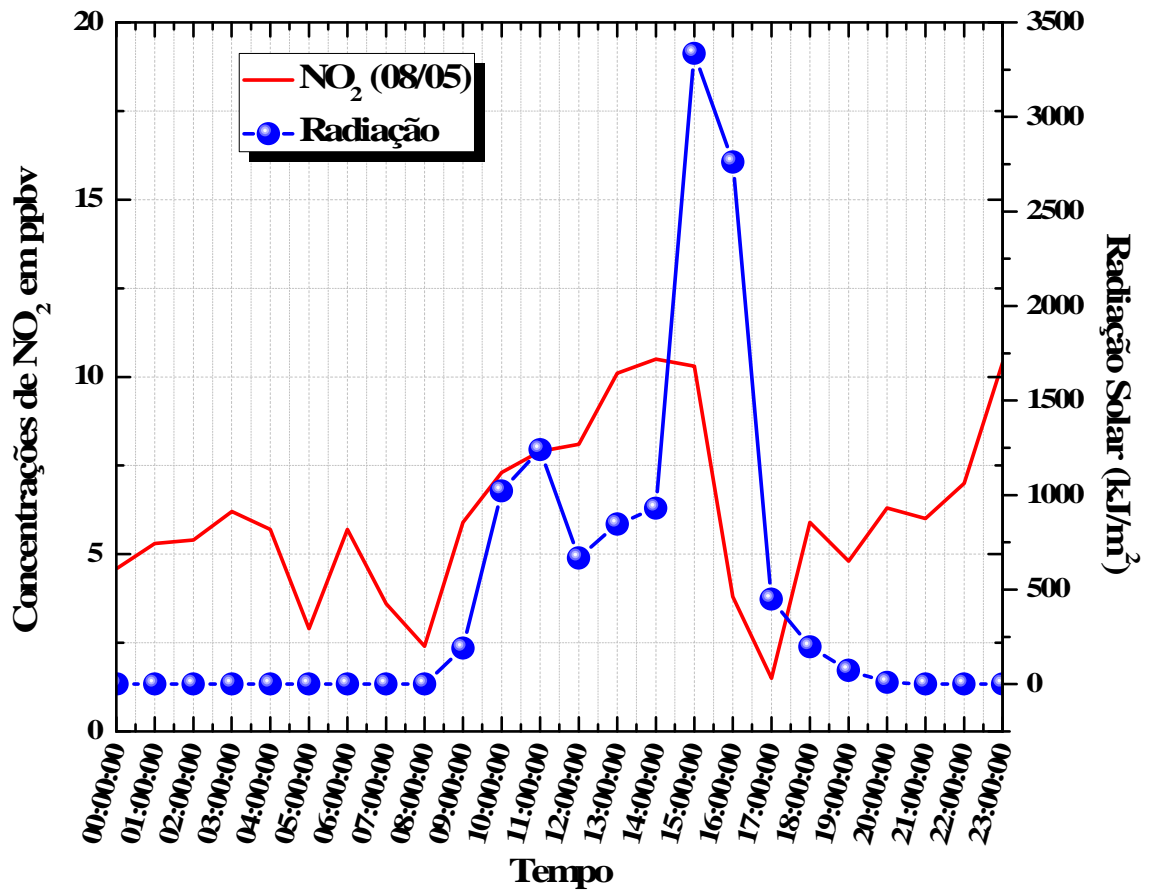
Para o dia 08/05/2011 a figura 33 demonstra que o comportamento das emissões teve seu nível máximo de concentração no horário das 14:00 com 10,1 ppbv e desvio padrão de 0,6 ppbv, o mínimo ocorreu as 17:00 horas com valor de 2,3 ppbv e desvio padrão de 1ppbv.

Figura 33 – Média horária das concentrações de NO₂ e seus respectivos desvios padrão para Maceió-AL, no dia 08 de Maio de 2011



Fonte: Autor(a), 2012

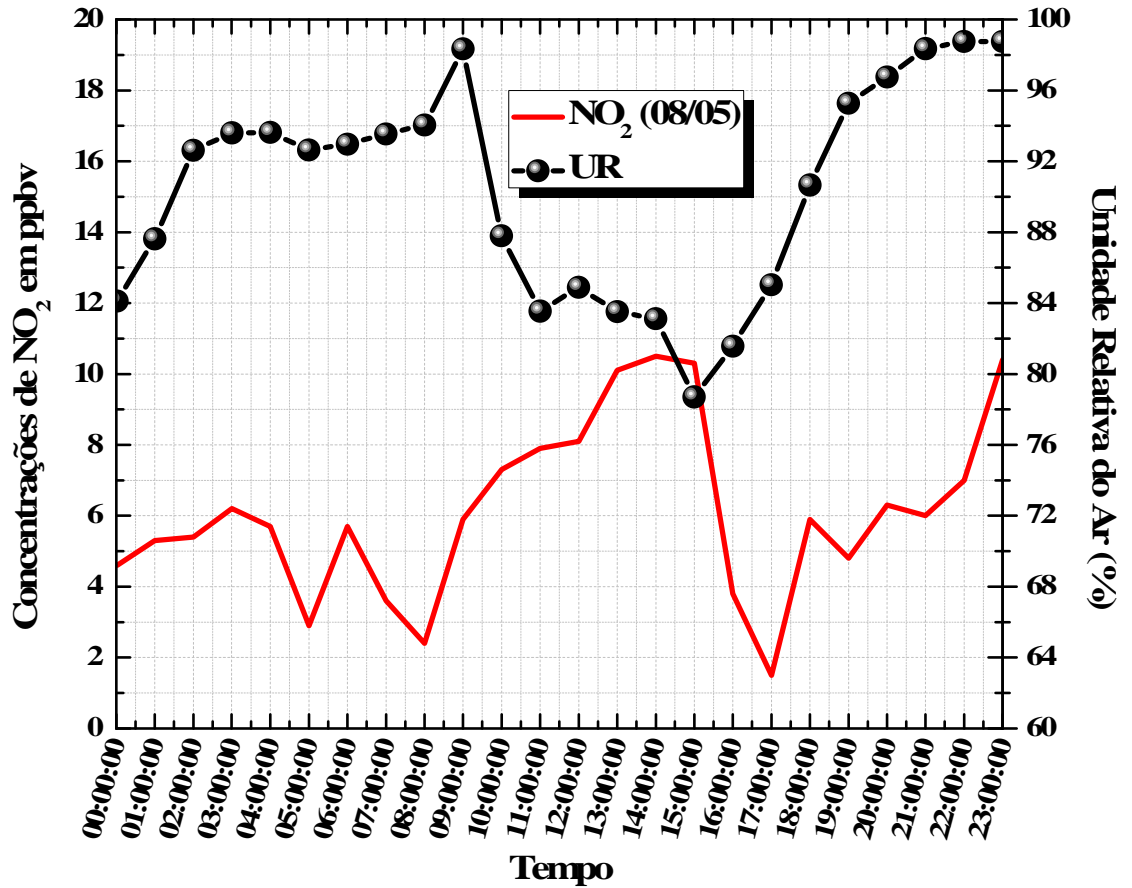
Figura 34 - Média horária das concentrações de NO₂ e radiação solar em (KJ/m²) para Maceió-AL, no dia 08 de Maio de 2011.



Fonte: autor(a), 2012

Porém, a ocorrência do pico máximo ter ocorrido nesse período pode estar relacionada a duas situações, a primeira seria à emissão veicular e a aproximação com a fonte de emissão, já que nesse mesmo horário os valores de NO também foram significativos, tendo em vista que se trata de um final de semana, onde se tem uma redução bastante significativa do tráfego de veículos.

Figura 35 - Média horária das Concentrações de NO_2 e Umidade relativa do ar em Maceió-AL no dia 08 de Maio de 2011



Fonte: Autor(a), 2012

A segunda situação é que a área de estudo encontrar-se em uma região costeira, onde a umidade do ar é relativamente alta (figura 35), o vento sopra em sua direção e em geral apresenta uma Camada Limite Planetária-CLP com menor turbulência.

5. CONCLUSÃO

- Durante o estudo foi analisado que existe influência significativa da emissão veicular nos valores das concentrações NO e NO₂, essa diferença foi observada quando comparado os níveis de concentrações obtidos com o fluxo veicular no local de estudo. Para reverter tal situação uma sugestão a ser aplicada seria a implantação governamental de um programa para inspeção veicular na cidade de Maceió, similar ao programa PROCONVE desenvolvido no Estado de São Paulo, que reduziu cerca de 43,64% das concentrações emitidas.
- Durante a semana as concentrações obtiveram valores relativamente maiores essencialmente nos horários onde o fluxo de veículo era relevante, diferentemente dos finais de semana onde os níveis apresentaram valores baixos.
- A análise do NO revelou um máximo noturno de concentração de NO, relacionado com a diminuição da altura da Camada Limite Planetária - CLP indicando condições desfavoráveis à dispersão desse poluente durante a noite.
- Para o NO₂ foi visível observar picos noturno devido o fim da atividade fotoquímica, porém, notasse que os valores relevantes que ocorrem no período diurno ocorrem em função de dois motivos, primeiro pela interação da formação desses óxidos devido aos resquícios químicos formadas no ciclo noturno do dia anterior e segundo aproximação da fonte de emissão e intensificação do fluxo de veículos automotores, principalmente os veículos do ciclo a diesel.
- Na presença dos raios solares a média horária durante todo o período de estudo do NO₂ demonstrou uma situação atípica, pois sua relação foi diretamente proporcional.
- Na presença de umidade relativa os óxidos apresentaram situações típicas, relações diretamente proporcionais.

REFERÊNCIAS

Agência Portuguesa do Ambiente de Qualidade do Ar - QUALAR. www.qualar.org

Página visitada em 10-12-2011.

ALTWICKER, ER.; CANTER, L W.; CHA, S. CHUANG, K. T.; RAMACHANDRAN, G.; RAUFER, R. K.; REIST, P.C.; SANGER, A.R.; TURK, A WAGNER, C,P.. Environmental Engineer's Handbook. Boca Raton: CRCpressLLC.1999 cap.05 (**air Pollution**).

ATLAS EÓLICO DO ESTADO DE ALAGOAS, 2008.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry.** 2ª Ed., New York, W.H. Freeman and Company , 2002.

BERNARDO, S. O.; MOLION, L.C.B. **Variabilidade do vento para a cidade de Maceió-AL.** In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro – RJ. Anais XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro – RJ; Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000.

CETESB (2005) - **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** - 2006, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN0103-4103, São Paulo.

CETESB (2006) - **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** - 2007, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN0103-4103, São Paulo.

CETESB (2007) - **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** - 2008, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN 0103-4103, São Paulo.

CETESB (2008) - **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** - 2009, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN 0103-4103, São Paulo.

CETESB (2010) - **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** - 2011, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios – ISSN 0103-4103, São Paulo.

CHAGAS, E.V. 2007. **Análise da concentração de gases traço (NO-NO₂- O₃) e da fotólise de NO₂ na região Amazônica na época seca.** Mestrado em Meteorologia.

CONAMA, 1990. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990. 4 ed. Brasília, 1992.

CONPET. **A saúde da população e a poluição atmosférica.** Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/>>. Acesso em: 13 jun 2007.

CORREIA, W.L.F.; ARAGÃO, M.R.S **Análise da variabilidade Sazonal do vento no aeroporto de Maceió / AL,** Parte I: Direção do vento. Revista Ciência & Natura. Edição Especial.pp. 189-192, 2009.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB - www.cetesb.sp.gov.br
Página visitada em 16-03-2012.

DALLAROSA J.B. 2005 **Estudo da Formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividades de processamento de carvão aplicando modelos numéricos em áreas de atividades de processamento de carvão.** Mestrado em Sensoriamento Remoto- UFRGS.

DALLAROSA, J.B.; TEIXEIRA,E.C.; ALVES, R.C. 2007. **Application of numerical models in the formation of Ozone and its Precursors in areas of influence of Coal-Fired Power station-Water Brazil air soil Pollut.** 178, 385-399.

EPA-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Emission factor documentation for AP-42, section 2,5, open burning.** Office of Air Quality Planning and Standards Office of Air and Radiation, Research Triangle Park, North Carolina 27711, September 1980.

EPA-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2008, **Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants**, Vol.I, EPA 600/R-05/004aF, pgs, 3-17 a 3-39.

FAITH, W. and A. A. Atkisson, Jr. **Meteorology in Air Pollution**, Wiley Interscience, NY, 1972. p. 30-59.

FERNANDES, R.C. 2010. **Concentração dos óxidos nitrogenados NO_x (NO+NO₂) na região metropolitana de Maceió-AL, em função de parâmetros meteorológicos**, Mestrado em Meteorologia.

FILHO, J.B.G **Aspectos técnicos e econômicos do meio ambiente.** São Paulo,1989.

FINLAYSON-PITTS, B.J., Pitts Jr., J.N., **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications**, 2000,Academic Press, pgs, 265-266.

FINLAYSON-PITTS, B.J., Pitts Jr., J.N., **Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experiments Techniques.** New York: Wiley. 1986. 1098p.

FONSECA, A. L. B. de AZEVEDO, L. M. P. **Climatologia.** In: BRASIL, MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, SECRETARIA GERAL, PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife. Rio de Janeiro: PROJETO RADAMBRASIL, 1983 p. 812-837 (Série: LRN. V. 30).

GALICHIO W, FORNARO, A. **Estudo da relação entre ozônio e parâmetros meteorológicos na atmosfera de São Paulo**, Julho, 2009.

GARDINER, W.C.Jr. **Gas-phase combustion chemistry** publisher: springer, 2end ed. Edition (Dec 10 1999).

GOOGLE EARTH, 2009

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2010;
Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censooficial>>. Acesso em 12 maio 2011.

IRIBARNE, J.V.; CHO, R.H. **Atmospheric Physics**. Holland. D. Reidel Publishing Company. 1980. 212p.

JÚNIOR, R.S.S. **Sensibilidade na estimativa da concentração de poluentes fotoquímicos com a aplicação de diferentes parametrizações de Camada Limite Planetária utilizando o modelo de Qualidade do Ar WRF/Chem**, Universidade de São Paulo – USP/IAG; São Paulo- SP, 2009

LEDBETTER, V. J. O, DEKKER M. **Air Pollution**. Part A: Analysis., New York 1972. 1. Aufl., XII, 424 S.

LORA, E.S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e do transporte**. Brasília: ANELL, 2000. 862p.

MADRONICH, S.; **Photodissociation in the Atmosphere: 1. Actinic Flux and the Effects of Ground Reflections and clouds**, J. Geophys. Res., 92 (D8), 9740-9752, 1987.

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry: Photochemical smog**. Boca Raton: CRC press LLC. 2000. Capítulo 13 Environmental Chemistry.

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry: Gaseous inorganic air pollutants**. Boca Raton: CRC press LLC. 2000. Capítulo 11 Environmental Chemistry.

MÁRIO N.M.S. Berberan e Santos. **Ozônio Atmosférico**. Centro de Química e Física molecular Instituto superior técnico, São Paulo – SP, 2005.

MORAES, O.L.L. **Meteorologia e poluição atmosférica: Teoria, experimentos e simulação**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2010.

OMETTO, J.G.S. **O álcool combustível e o desenvolvimento sustentado**. São Paulo, PIC Editorial, p. 55-7, 1998.

PALÁCIO, J. **Motores Diesel X Poluição**. 2004 Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/artigojosepalacio.htm>>. Acesso em 16 maio 2007.

PINHEIRO, D. K. **Estudo do comportamento do dióxido de nitrogênio atmosférico com base em dados do espectrofotômetro Brewer**./ D. K. Pinheiro. – São José dos Campos: INPE, 2003. 371p. – (INPE-10017-TDI/2003).

PRETTO, A. **O estudo do comportamento dos gases-traço O₃, NO_x, CO, SO₂ e de COV_s na atmosfera da cidade de São Paulo**. São Paulo, 2005.

SALDIVA, P. **Poluição do ar e saúde humana**. 1994 Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/EA/adm/admarqs/PauloSaldiva.pdf>>. Acesso em: 13 junho 2007.

SANTOS, J.B, AMORIM, R.F.C, SILVA, C.M, et.al. **Avaliação do Conforto Térmico e os impactos causados pela poluição do ar em função das variáveis meteorológicas: Estudo de caso**. XI Congresso Argentino em Meteorologia – Mendoza/ Argentina Maio a junho de 2012.

SCHIRMER, W.N. **Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânicos voláteis (COV) e odorantes em estação de despejos industriais de refinaria de petróleo.** 140f. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH
www.semarh.al.gov.br Página visitada em 18-03-2012.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change.** New York: John Wiley & Sons, inc., 1997 1360p.

SEINFELD, J.H., **Urban air pollution: state of the science.** Science, v 243,p 745-752, 1999.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J.B.; DUDHIA, J.; GILL, D.O. BARKER, D.M.; WANG, W. POWERS, J.G., 2005, **A Description of the Advanced Research WRF Version 2;** NCAR Technical Note.

SHIMAZAKI. T. **Minor constituents in the atmosphere.** Tokyo: Terra Scientific, 1985. 443p.

TEIXEIRA, E. C.; NORTE, F.; et.al. **Química da atmosfera.** Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, 2010.

TELEDYNE ADVANCED POLLUTION INSTRUMENTATION(TELEDYNE API), **Instruction Manual MODEL NITROGEN OXIDE ANALYZER.** SAN DIEGO,CA. 2005.

UGUCIONE, C; FELIX, E.P; ROCHA, G.O; CARDOSO, A. A; **Processos diurnos e noturnos de remoção de NO₂ e NH₃ atmosféricos na região de Araraquara-SP.** Eclética química. Volume 27. São Paulo-SP, 2002.

Variation of Cosmopolitan Diseases in Tropical and Temperate Zones -- Larsen s1-16
(1): 91 - American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.

USEPA, 1998. **National air pollutatant Emission Trends.** 1990-1996, EPA-454/ R-98-008.

WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. World Health Organization.

Zhang Bao-Ning e Oanh K.T., 2002, **Photochemical smog modeling for air quality management in the Bangkok Metropolitan Region.** (tese de Doutorado)