



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

Nº de ordem: MET- UFAL-MS/080

CONCENTRAÇÕES DOS ÓXIDOS NITROGENADOS  $\text{NO}_x(\text{NO}+\text{NO}_2)$  NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ-AL, EM FUNÇÃO DE  
PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Ronabson Cardoso Fernandes

Maceió-Alagoas.  
Outubro – 2010.

RONABSON CARDOSO FERNANDES

Nº de ordem: MET- UFAL-MS/080

CONCENTRAÇÕES DOS ÓXIDOS NITROGENADOS  $\text{NO}_x(\text{NO}+\text{NO}_2)$  NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ-AL EM FUNÇÃO DE PARÂMETROS  
METEOROLÓGICOS

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Ciências Atmosféricas/UFAL, para a  
obtenção do título de Mestre em  
Meteorologia – Área de Concentração  
em Processos de Superfície Terrestre

Orientador: Prof. Dr. Manoel Ferreira do Nascimento Filho

Maceió-Alagoas.  
Outubro – 2010.

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto**

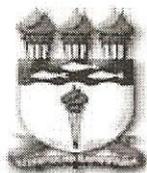
F363c Fernandes, Ronabson Cardoso.  
Concentrações dos óxidos nitrogenados NO<sub>x</sub>(NO+NO<sub>2</sub>) na região metropolitana de Maceió-AL em função de parâmetros meteorológicos / Ronabson Cardoso Fernandes. – 2010.  
66 f. : il., grafs., tabs.

Orientador: Manoel Ferreira do Nascimento Filho.  
Dissertação (mestrado em Meteorologia: Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2010.

Bibliografia: f. 57-63.  
Apêndices: f. 64-66.

1. Poluentes atmosféricos – Maceió (AL). 2. Óxidos de nitrogênio. 3. Condições atmosféricas – Maceió (AL). I. Título.

CDU: 551.509(813.5)



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

**CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO**

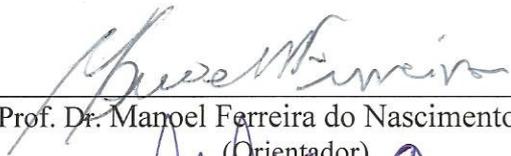
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-080.

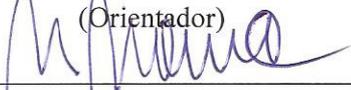
**“CONCENTRAÇÕES DOS ÓXIDOS NITROGENADOS NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ, EM FUNÇÃO DE  
PARÂMETROS METEOROLÓGICOS.”**

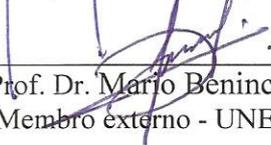
*Ronabson Cardoso Fernandes*

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. Marcos Antônio Lima Moura  
(Membro interno)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mário Benincasa  
(Membro externo - UNESP)

Outubro /2010

Ao meu orientador Prof. Dr.  
Manoel Ferreira do Nascimento Filho, **OFEREÇO**.

A toda minha família, **DEDICO**.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me dado força para lutar e vencer cada desafio.

Agradeço imensamente a minha família por ter contribuído na minha formação intelectual, humana e estar ao meu lado nos tempos tenebrosos da vida, a Maria das Neves (eterna mãe), ao meu pai José Carlos, aos meus irmãos Rawlinson, Robson e Robervânia e à nova geração, que, aos meus sobrinhos, Anne Caroline, Ana Clara, e o Robson Júnior.

A FAPEAL por ter concedido a bolsa de estudo.

A Banca examinadora, pela contribuição nesse trabalho.

Agradeço aos meus professores pela paciência e consideração, principalmente ao Manoel Ferreira e Marcos Moura.

Aos meus Amigos de luta e risadas, Márcio Maciel, Mariana Michele, Heline, Marcus Willams, André Luiz, Henderson, Paulo José, Micejane, Alanne, Maryana, Flávia Rabelo, e Anthony. Infelizmente não tenho como citar todos, embora cada frase contenha um pouco de cada um, e é portadora da minha eterna gratidão.

## EPÍGRAFES

A única coisa tão inevitável quanto a morte é a vida (Charles Chaplin)

Os negativos dificilmente identificam os positivos. Já os positivos identificam com facilidade os negativos (Israel Ziller)

Não tento dançar melhor do que ninguém. Tento apenas dançar melhor do que eu mesmo. (Mikhail Baryshnikov)

Deus nos dá as nozes. Mas não as quebra.  
(Provérbio Alemão)

A bondade é o único investimento que sempre compensa.  
(Henry David Thoreau)

Não jogue ouriços no meu caminho, pois colocarei dois porcos-espinhos no seu. (Nikita Khrushchev)

## SUMÁRIO

	Pág
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Absorções da Radiação Solar pelas Moléculas de NO<sub>2</sub> Caracterização Climatológica.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Fontes de NO<sub>x</sub> e alguns Efeitos na Saúde Humana e no Meio Ambiente.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Formação de Aerossóis e Nuvens pelos NO<sub>x</sub>.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Emissão Veicular e a Legislação.....</b>	<b>25</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Parte Experimental.....</b>	<b>27</b>
3.1.1 Descrição Experimental.....	27
3.1.2 Caracterização Climatológica da Precipitação.....	28
3.1.3 Equipamentos e Procedimentos.....	29
3.1.4 Analisador de Óxidos de Nitrogênio (NO+NO <sub>2</sub> ).....	30
3.1.5 Parâmetros Meteorológicos.....	32
<b>3.2 Tratamento dos Dados.....</b>	<b>33</b>

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Variação das Concentrações de NO, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Estatística das Concentrações dos NO, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Estudo de Caso.....</b>	<b>52</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> – Absortividade de alguns gases da atmosfera em determinados comprimentos de onda.....	17
<b>Figura 2</b> – As principais regiões da atmosfera terrestre (adaptada de Manahan, 1984, Moore, 1976).....	20
<b>Figura 3</b> – Localização do monitoramento: Brasil (a), Alagoas (b) e no Centro da cidade de Maceió – AL(c).....	27
<b>Figura 4</b> – Local do monitoramento e equipamentos utilizados na medição dos parâmetros físicos e químicos da atmosfera no centro de Maceió-AL.....	30
<b>Figura 5</b> – Foto do analisador de óxidos nitrogenados NO <sub>x</sub> (NO+NO <sub>2</sub> ) utilizado no experimento.....	31
<b>Figura 6</b> – Ciclo horário da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no período de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.....	40
<b>Figura 7</b> - Distribuição média das concentrações de NO (a), NO <sub>2</sub> (b) e NO <sub>x</sub> (c), de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.....	42
<b>Figura 8</b> - Frequências das concentrações médias de NO(a), NO <sub>2</sub> (b) e NO <sub>x</sub> (c), 24 horas, de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió - AL.....	43
<b>Figura 9</b> – Frequência da direção do vento (%), das 8 às 17 horas, durante os dias 11 a 15 de Julho de 2009 (a,b,c,d,e), respectivamente, no Centro – Maceió/AL.....	46
<b>Figura 10</b> - Concentrações médias de NO(a), NO <sub>2</sub> (b) e NO <sub>x</sub> (c) de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.....	49
<b>Figura 11</b> – (a) Irradiância no topo da atmosfera (W/m), (b) Índice de radiação ultravioleta (IUV), (c) Radiação Global(W/m <sup>2</sup> ) (d) Índice de claridade (kt) de 11 a 15 de julho de 2009.....	50
<b>Figura 12</b> – Taxa média de fotólise j(NO <sub>2</sub> ) no período de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió - AL.....	51
<b>Figura 13</b> – (a) Velocidade média do vento (m/s) e (b) direção do vento (°) de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL... ..	52
<b>Figura 14</b> – Concentrações de óxidos nitrogenados (NO, NO <sub>2</sub> ) para os dias 12 e 13 de julho de 2009, de 0 às 10 horas Maceió-AL, das de 0 às 10 horas.....	55
<b>Figura 15</b> – Temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) pa ra os dias 12 e 13 de julho de 2009, Maceió-AL, de 0 às 10 horas.....	55

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
<b>Tabela 1</b> – Limites de emissão para motocicletas e veículos similares novos .....	26
<b>Tabela 2</b> – Limites máximos de emissão para veículos leves novos.....	26
<b>Tabela 3</b> – Especificações técnicas do analisador de NOx (NO+NO <sub>2</sub> )....	32
<b>Tabela 4</b> – Equipamentos de medição e sua função .....	32
<b>Tabela 5</b> - Localização das estações pluviométricas no Município de Maceió-AL.	35
<b>Tabela 6</b> – Médias das concentrações dos óxidos nitrogenados e de algumas variáveis meteorológicas de 8 horas às 17 horas, de 11 a 15 de julho de 2009.....	44

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$	Comprimento de onda
$\sigma$	Seção transversal de absorção de $\text{NO}_2$ em função do comprimento de onda
$\phi$	Rendimento quântico dos produtos fotodissociação
$\phi$	Latitude local
$\delta$	Declinação solar
$E_0$	Excentricidade terrestre
$j(\text{NO}_2)$	Taxa de frequência de fotólise do $\text{NO}_2$
$H$	Ângulo horário solar
$IUV$	Índice de radiação Ultravioleta
$I_{sc}$	Constante solar equivalente a $1367 \text{ W m}^{-2}$
$I_0$	Irradiação solar no topo da atmosfera
$kt$	Índice de claridade ou nebulosidade

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>Cos</b>	Cosseno
<b>g/km</b>	Gramas por quilômetro percorrido
<b>HO<sub>2</sub></b>	Hidroperóxido
<b>HNO<sub>2</sub></b>	Ácido nitroso
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ácido nítrico
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Água
<b>mm</b>	Milímetros
<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrogênio molecular
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>	Nitrato de amônia
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sulfato de amônia
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Pentóxido de dinitrogênio
<b>NO</b>	Óxido nítrico
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de nitrogênio
<b>NO<sub>3</sub></b>	Radical nitrato
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrogênio
<b>O</b>	Oxigênio atômico
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio molecular
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozônio
<b>OH</b>	Hidroxila
<b>P</b>	Pressão
<b>PAN</b>	Nitrato de peroxi acetila
<b>Rg</b>	Radiação Global
<b>sen</b>	Seno
<b>T</b>	Temperatura
<b>UR</b>	Umidade Relativa
<b>ppbv</b>	Partes por bilhão por volume
<b>µm / m<sup>3</sup></b>	micro grama por metro cúbico
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Watts por metro quadrado

FERNANDES, Ronabson Cardoso. Concentrações dos óxidos nitrogenados NO<sub>x</sub>(NO+NO<sub>2</sub>) na região metropolitana de Maceió-AL, em função de parâmetros meteorológicos. 2010, 66f. Orientador: Manoel Ferreira do Nascimento Filho. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas / Maceió-AL.

## RESUMO

Com o objetivo de analisar as concentrações dos óxidos de nitrogênio no centro da Região Metropolitana de Maceió-AL, coletou-se dados dos parâmetros químicos utilizando um analisador de NO<sub>x</sub>(NO+ NO<sub>2</sub>) API Modelo 200 A através do método de quimiluminescência, e para o acompanhamento das condições atmosféricas (parâmetros físicos) utilizou-se uma estação meteorológica da WeatherLink Pro2 da Davis Instruments (E.U.A), no qual seus sensores ficaram a 2 metros de altura em relação ao solo. O monitoramento para ambos os parâmetros tiveram intervalo médio de 10 minutos. As concentrações dos óxidos nitrogenados se mostram sensíveis as mudanças meteorológicas. As maiores frequências de concentrações de NO situaram no intervalo de 43,8 % com variações de 10-15ppbv e para NO<sub>2</sub> tiveram 46, 6% entre 0 e 2 ppbv. Evidenciou que as maiores concentrações foram obtidas nos dias de semana, no dia 15/07 no período diurno, cerca de 309% para o NO<sub>2</sub> e 153,5% de NO, superiores ao dia 12/07 (domingo) sendo os veículos automotores a principal fonte de emissão isto associado à alta pressão atmosférica aumentaram as concentrações, e inversamente quando ocorreram baixas pressões diminuíram as concentrações. Durante a madrugada, as condições atmosféricas propiciou algumas reações químicas que foram sumidouro dos NO<sub>x</sub>, assim, tendo nesse período relativamente as menores concentrações diárias. Durante o período diurno, a intensidade da radiação solar assim como a presença da nebulosidade contribuiu para atenuação significativa das concentrações desses óxidos, propiciando a fotólise do NO<sub>2</sub> para formação de poluentes secundários, prejudiciais à saúde da população.

**Palavras- Chave:** Óxidos nitrogenados, Condições atmosféricas, Poluição atmosférica.

FERNANDES, Ronabson Cardoso. Concentrations of nitrogen oxides NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>) in the metropolitan area of Maceió-AL, as a function of meteorological parameters. 2010, 66f. Adviser: Dr. Manoel Ferreira do Nascimento Filho Dissertation (Master in Meteorology). Universidade Federal de Alagoas / Maceió-AL.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Ferreira do Nascimento Filho

### **ABSTRACT**

The objective of this study was analyze the concentrations of nitrogen oxides in the center of the metropolitan area in Maceió, Alagoas. The data were collected from chemical parameters using a NO<sub>x</sub> analyzer (NO + NO<sub>2</sub>) API Model 200 A using the chemiluminescence method, and to monitore the atmospheric conditions (physical parameters) was used a WeatherLink Pro2 weather station from Davis Instruments (USA), where its sensors were 2 meters in height above the ground. Monitoring for the parameters had an average interval of 10 minutes. Nitrogen oxides concentrations are shown sensitive to weather changes. The highest frequencies of NO concentrations were 43,8% ranging from 10-15 ppbv and NO<sub>2</sub> concentrations were 46,6% between 0 and 2 ppbv. It was evident that the highest concentrations were obtained during the week. The NO<sub>2</sub> and NO concentrations for 15/07 (Thursday) during the day were nearly 309% and 153.5% higher than 12/07 (Sunday), respectively. The motor vehicles were the main source of emissions due to high atmospheric pressure increased concentrations, and with low pressures the concentrations were decreased. During the night, the weather provided some chemical reactions that were sink of NO<sub>x</sub>, so having in this period low daily concentrations. During the day, the intensity of solar radiation and the presence of cloud cover contributed to significant attenuation of concentrations of these oxides, allowing the photolysis of NO<sub>2</sub> to form secondary pollutants harmful to health.

**Keywords:** Nitrogen oxides, Atmospheric conditions, Atmospheric pollution.

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta última década as emissões contínuas da frota veicular tem alterado significativamente as concentrações dos gases em estado de “traço” na atmosfera. Com o crescimento das cidades a necessidade de transporte motorizado foi sendo um recurso de locomoção essencial para a população. A deficiência do transporte público e a melhoria no poder aquisitivo dos brasileiros propiciaram que tais pessoas possuíssem seu próprio veículo. O aumento circunstancial da frota de veículo, e, conseqüentemente, o consumo de combustíveis fósseis, os problemas de saúde em toda a faixa etária devido a emissão de substâncias nocivas a saúde como NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO por tais veículos.

Por exemplo, cidade como São Paulo, a poluição atmosférica tem causado prejuízos aos cofres públicos, milhões de reais/ano de gastos anuais. Fato esse pela grande emissão de poluentes para a atmosfera. Outras regiões como a Europa, tem sofrido com a precipitação de chuvas ácidas, causando alterações no solo, acidez dos lagos, destruição de florestas.

O desenvolvimento industrial da China levou ao patamar de país de destaque mundial. A produção de produtos industrializados assim como o tráfego de veículos, tem ocasionado grandes problemas ambientais. O governo deste país teve que intervir nesses setores para a realização das olimpíadas, pois, o nível de poluentes presentes no ar estava em nível críticos tanto para a população que não são nativos dessa região, quanto para os atletas de alto nível.

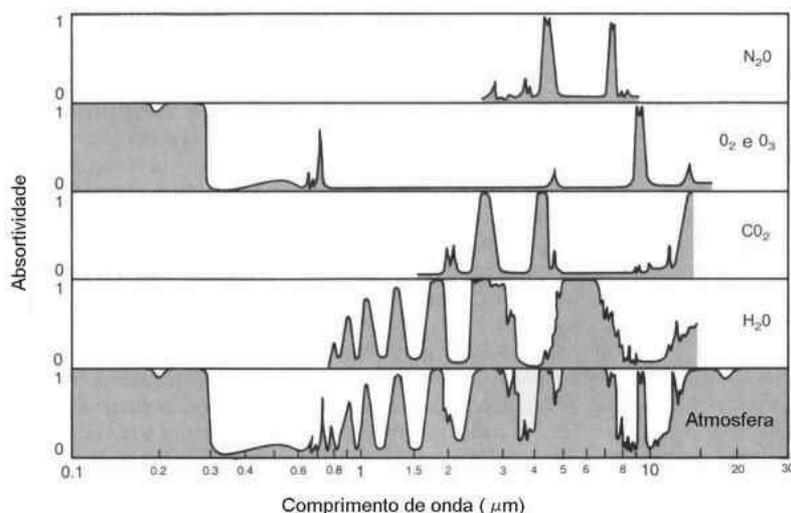
A falta de monitoramento da qualidade do ar nas grandes cidades, inclusive na Região Metropolitana de Maceió, nos leva a um desconhecimento, a um estado de cegueira onde fatores que ocorrem diariamente no globo terrestre são observado.

O monitoramento da poluição atmosférica torna-se uma ferramenta imprescindível para a gestão da qualidade do ar nas grandes cidades. Diversos parâmetros climáticos interferem nas concentrações dos componentes atmosféricos, podendo causar episódio de poluição, tanto prejudicial à saúde humana. Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar as concentrações dos óxidos nitrogenados  $\text{NO}_x(\text{NO}+\text{NO}_2)$  em função da variabilidade de alguns parâmetros meteorológicos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Absorções da Radiação Solar pelas Moléculas de NO<sub>2</sub>

A variação da composição química do ar atmosférico interfere tanto na qualidade quanto na quantidade da radiação solar incidente numa superfície terrestre. A absorção espectral ou bandas espectrais da radiação solar num certo comprimento de onda. Na figura 1 mostra a absorvidade da radiação solar pela atmosfera e por alguns de seus componentes.



**Figura 1** - Absortividade de alguns gases da atmosfera em determinados comprimentos de onda.

Fonte: IQBAL (1980) <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>

A freqüência de fotólise de NO<sub>2</sub> é o coeficiente de primeira ordem do processo de dissociação, representa a probabilidade de fotodissociação por segunda numa determinada radiação recebida por uma substância (KAZADZIS, et al 2004). As freqüências de fotólise podem ser calculadas pela equação proposta por Madronich (1987):

$$j(NO_2) = \int F(\lambda)\sigma(\lambda, T, P)\phi(\lambda, T, P)d\lambda$$

Onde,

$j(NO_2)$  = taxa de frequência de fotólise do  $NO_2$ ;

$\lambda$  = Comprimento de onda;

$\sigma$  = é a seção transversal de absorção de  $NO_2$  em função do comprimento de onda;

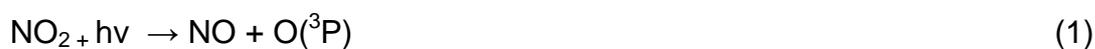
$\phi$  = é o rendimento quântico dos produtos fotodissociação como uma função de  $\lambda$ , T, e P

T = Temperatura;

P = Pressão.

Vários autores têm estudado a frequência de fotólise do  $NO_2$  com o fluxo actínico proveniente do Sol (MADRONICH, 1987; HOFZUMAHAUS et al., 2002; JUNKERMANN et al., 2002). Esses autores observaram que as nuvens e aerossóis presentes na atmosfera terrestre atenuam significativamente na taxa de fotólise do  $NO_2$

Na presença da radiação solar, os óxidos nitrogenados ( $NO + NO_2$ ) reagem com outros gases, sendo um dos 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 oxigênio (1) reagindo com o oxigênio molecular formando o  $O_3$  (2).



Com reação rápida do O<sub>3</sub> com o NO, regenerando o NO<sub>2</sub> (3)

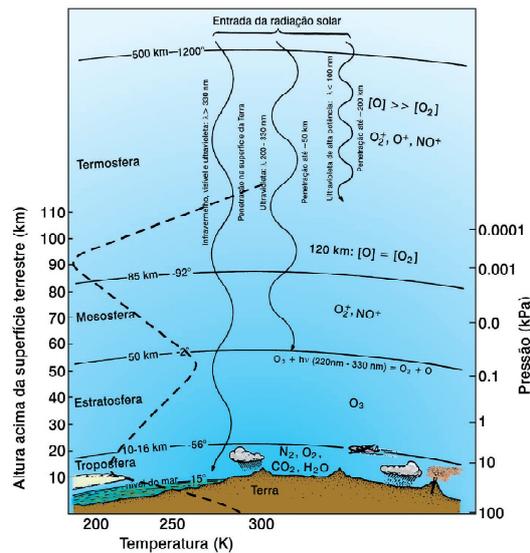


Sendo essas reações cíclicas.

Nos comprimentos de onda de 460 a 630 nm o NO<sub>2</sub> excitado (NO<sub>2</sub><sup>\*</sup>) (4) pode se dissociar em NO e O<sub>2</sub> por meio da reação com o NO<sub>2</sub> (5) (SHIMAZAKI , 1985).



Na figura 2 mostra a absorção atmosférica da radiação solar, nos seus respectivos comprimentos de onda. Nota-se que nos comprimentos de ondas inferiores 330nm são fortemente absorvido pelos gases, como o oxigênio, favorecendo sua fotólise, formando a camada de ozônio na estratosfera, (20km - 50km), protegendo os seres vivos na biosfera por essa radiação nociva.



**Figura 2** - As principais regiões da atmosfera terrestre (adaptada de Manahan, 1984, Moore, 1976).

## 2.2 Fontes de NOx e efeitos na Saúde Humana e no Meio Ambiente

Os NOx (NO+ NO<sub>2</sub>) são encontrados naturalmente na atmosfera em baixas concentrações (gases traços). Participa ativamente nas reações fotoquímica na atmosfera, contribuindo na formação dos poluentes secundário como o ozônio troposférico (O<sub>3</sub>). Nas cidades, ela é acrescentada pela emissão veicular e industrial, e na zona rural, os fertilizantes e ações microbianas tem sido sua principal fonte.

Na agricultura, as emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) dos solos ocorrem como consequência dos processos microbiológicos de desnitrificação e nitrificação, a partir do nitrogênio mineral (LIMA, 2001). A nitrificação é realizada por bactérias do gênero *Nitrosomas* (transformação do amônio em nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)) e a *Nitrobacter* (transformação do nitrito em nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)), na presença do oxigênio molecular (GONÇALVES, 2005). Ainda Gonçalves (2005) estimou a emissão de N<sub>2</sub>O para a atmosfera, que resultou em 1,4.10<sup>9</sup> gramas

de N<sub>2</sub>O pela cultura de feijão no Brasil. Fato, o nitrogênio mineral na agricultura intensiva e extensiva provém da utilização de fertilizantes para melhoria da produtividade (SKIBA et al., 1994).

No qual, a emissão (N<sub>2</sub>O) pela agricultura para atmosfera, fotodissocia-se pela radiação ultravioleta, resultando nitrogênio molecular e oxigênio atômico (6)



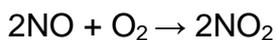
Onde a reação entre o oxigênio atômico e o óxido nítrico, no comprimento de onda próximo de 200 nm, resulta em duas moléculas de NO (7).



No caso do óxido nítrico (NO), na zona urbana, é um dos produtos da combustão dos combustíveis fósseis emitidos pelos veículos. Onde a reação entre o nitrogênio com o oxigênio submetido a elevada temperatura e pressão, favorece a formação de NO (8).



Na atmosfera, o NO oxida-se resultando no dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) (9).



(9)

Essa conversão do NO em NO<sub>2</sub>, na atmosfera, pode acontecer por intermédio dos relâmpagos, gerando fenômenos físicos e químicos na atmosfera.

A emissão dos óxidos nitrogenados pelos veículos automotores e seus efeitos sobre a saúde humana têm sido estudados por vários autores (CHANEY et al., 1981; SCHELSINGER et al., 1990; MCKEE e RODRIGUES, 1993; GISELE et al, 1997). O aumento das concentrações de NO<sub>2</sub> nas zonas urbanas tem sido a causa de doenças cardiovascular e respiratória (citação). A inalação do NO<sub>2</sub> pela população dissolvido nos tecidos e seu acúmulo nos brônquios tem provocados lesões nos pulmões e alterações no sistema imunológico (KURIYAMA, G. S.; MOREIRA, J. C. e SILVA, C. R. G., 1997; RUBSTEIN et al, 1991).

A exposição de crianças ao NO<sub>2</sub> as baixas concentrações tem agravado os sintomas asma (CHAUHAN et al, 2003). Além do mais, trabalhadores que estão constantemente inalando tal poluente por longos períodos, como policiais, tem sido motivo de estudos (KURIYAMA, MOREIRA e SILVA, 1997)

O aumento da acidez do solo pelo NO<sub>2</sub> nas florestas e na agricultura, por deposição líquida e sólida, transportados das regiões urbanas para essas regiões, tem sido a causa da degradação e esterilização do solo, alteração do pH, redução de produção na agricultura, acidificação de lagos e extermínio de árvores e florestas (ASHENDEN e BELL,1989; YAMULKI et al, 1997; DRISCOLL, et al 1998; GRODZIŃSKA-JURCZAKA e SZAREK-ŁUKASZEWSKAB, 1999;).

Nas regiões metropolitanas, as precipitações pluviométricas de caráter ácidas e deposição dos óxidos ácidos tem sido responsáveis pela redução da durabilidade dos concretos, metais, edifícios, estátuas (DOLSKE e MEAKIN, 1991; OKOCHI, et al 2000; HANEEF, et al 2002; XIE, QI e ZHOU, 2004). Segundo Tang et al (2005) o  $\text{SO}_4$  e o  $\text{NO}_3$  são os maiores contribuintes da acidificação da água de chuva em Beijing. Em Maceió/AL, 3,5% das precipitações pluviométricas apresentaram caráter ácido, sendo registrado em janeiro de 2002  $\text{pH}=4,86$  (ROGÉRIO, 2004; ROGÉRIO, BITENCOURT e NASCIMENTO FILHO, 2004).

Mas os efeitos adversos não se limitam a uma região, mas atualmente encontra-se na escala continental a global. O transporte de poluentes antropogênicos como  $\text{NO}_2$ , da China tem contaminado e alterado a composição química atmosférica e do pH das precipitações na Coréia (CHUNG, KIM e KIM, 1996).

Ao aspirar o  $\text{NO}_2$ , sendo transportado para regiões mais internas dos pulmões, chegando aos alvéolos, onde no processo de difusão com a água e o sangue, acaba sendo se transformando em um ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), considerado forte, e assim por longo período de permanência de uma pessoa concentrações desse gás, fere .

Segundo a Resolução CONAMA Nº 30/90 que estabelece que as concentrações do dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) é considerado fora do padrão, ou poluente, quando suas concentrações médias horárias apresentarem ou apresentar igual ou acima de  $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (238,8 ppbv).

### 2.3 Formação de aerossóis e nuvens pelos NOx

Os óxidos nitrogenados contribuem para formação de aerossóis e formação de nuvens, servindo de núcleos de condensação.

Uns dos processos para a formação dos aerossóis durante a madrugada deve-se ao consumo da amônia pelos NOx na presença de alta umidade relativa, neutralizando o ácido nítrico.

Para a formação de nuvens na troposfera, tem a necessidade da interação termodinâmica da atmosfera com as partículas suspensas nesse meio, atuando como núcleos de condensação. Tais núcleos favorecem a condensação da água no estado de vapor. A saturação do vapor d'água na troposfera favorece a reação desse componente com os gases e partículas suspensas.

A amônia pode ser parcialmente ou totalmente removida pela reação de neutralização com o ácido nítrico, sulfúrico, na presença da umidade do ar (H<sub>2</sub>O) formando aerossóis atmosféricos como o nitrato (10) e o sulfato de amônia (11) (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), respectivamente (JACOB, 2000).



A emissão de grande quantidade de óxidos nitrogenados, VOCs entre outros contaminantes atmosféricos pode resultar na formação do aerossol Peroxi Acetil Nitrato (CH<sub>3</sub>C(O)OONO<sub>2</sub>), conhecido popularmente como PAN (abreviado) (STEPHENS, 1969). Essa substância pode formar o smog químico

(neblina química) que ao ser inalado pode resultar em doenças respiratórias, até levar a óbito. Em 1952, Londres/Inglaterra, tal substância levou a óbito cerca de 4.000 pessoas em 4 dias, resultado da interação da estabilidade atmosférica pela inversão térmica e emissão contínua de contaminantes atmosféricos pelas indústrias e veículos (JACOB, 2000; BAIRD, 1998).

## **2.4 Emissão Veicular e a Legislação**

Os veículos automotores que trafegam nas vias públicas são fontes em potencial de poluentes atmosférico. Na Tabela 1, evidencia a emissão das motocicletas e veículos novos. Percebe-se que em qualquer das circunstâncias há emissão dos óxidos nitrogenados, apesar da redução de 0,30g/km de 2003 para 0,15g/km em 2009, para veículos novos, conforme Resolução CONAMA N° 297/02

Na tabela 2, mostra os limites máximos para os veículos leves novos nos seus respectivos anos. Com o aumento da fiscalização e de novas resoluções que limitam a emissão de contaminantes atmosféricos nas vias, reflete a redução significativa da emissão de NOx pelos veículos novos. Enquanto que os veículos novos de 89/91 lançavam na atmosfera 2,0 g/km em média.

Todavia, a falta de manutenção e conservação ideal dos veículos tende a apresentarem valores superiores a tais mencionados.

No entanto, ao despejar tal contaminante atmosférico para a atmosfera, as concentrações tendem a diminuir. Segundo a Resolução CONAMA N° 03/90 que estabelece os limites desses contaminantes e da qualidade do ar no Brasil, fixa média horária de 320µg/m<sup>3</sup>, ou seja, será considerado inadequado quando

as concentrações do NO<sub>2</sub> estiverem compatíveis ao valor mencionado ou superior.

**Tabela 1:** Limites de emissão para motocicletas e veículos similares novos <sup>1</sup>

Ano	Motor	NOx
	(cm <sup>3</sup> )	(g/km)
Jan/03	todos	0,30
Jan/05/06 <sup>4</sup>	<150	0,30
	≥ 150	0,30
Jan/09	<150	0,15
	≥ 150	0,15

1 - Conforme Resolução CONAMA No 297/02. Medições conforme a Diretiva da Comunidade Européia No 97/24/EC, anexo II. Próximas etapas de controle serão fixadas em 2003.

2 - Para deslocamento volumétricos ≤ 250 centímetros cúbicos.

3 - Para deslocamento volumétricos > 250 centímetros cúbicos.

4 - Para veículos derivados de três ou quatro rodas há limites específicos nesta fase, a saber: (CO = 7,0g/km; HC = 1,5g/km e NOx = 0,4g/km).

**Tabela 2:** Limites máximos de emissão para veículos leves novos<sup>1</sup>.

Ano	NOx (g/km)
89 - 91	2,0
92 - 96	2,0
92 - 93	1,40
Mar - 94	1,40
Jan - 97	0,60
Maio -03	0,60
Jan-05	0,25 <sup>3</sup>
Jan-06	ou
Jan-07	0,7 <sup>2</sup>
Jan-09	0,12 <sup>3</sup> ou 0,25 <sup>2</sup>

1 - Medições de acordo com a NBR6601 (US-FTP75), e conforme as Resoluções CONAMA N° 15/95 e N° 315/02.

2 - Apenas para veículos do ciclo diesel.

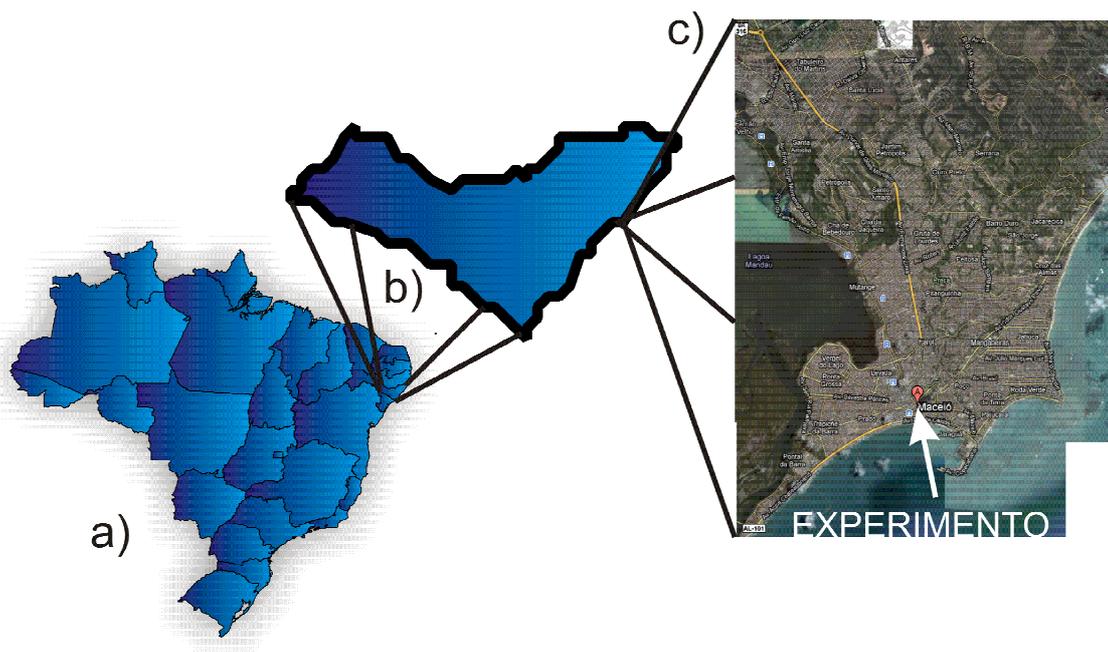
3 - Apenas para veículos do ciclo Otto, inclusive a GNV.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Parte Experimental

#### 3.1.1 Descrição Experimental

A cidade de Maceió está localizada no litoral oriental do Nordeste brasileiro, entre a latitude  $9^{\circ}39'57''$  (Sul) e longitude  $35^{\circ}44'07''$  (Oeste), às margens do Oceano Atlântico, e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba. Abrange uma área de  $512\text{km}^2$  (Figura 3), possui uma população de 932.608 habitantes (IBGE, 2010).



**Figura 3** – Localização do monitoramento: Brasil (a), Alagoas (b) e no Centro da cidade de Maceió – AL(c).

A campanha experimental foi realizada no centro urbano e comercial de Maceió-AL, ocorreu no período de 11 a 15 de Julho de 2009. Esse local foi

escolhido para o monitoramento devido à quantidade expressiva de pessoas e de veículos que transitam por essa região.

Alguns equipamentos foram instalados no Laboratório Móvel, pertencente ao Laboratório de Poluição Atmosférica do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, devido à facilidade de locomoção dos equipamentos para escolha do local de estudo, e pôde ficar estacionado num local de fácil aquisição de ponto de energia para o funcionamento dos equipamentos.

### 3.1.2 Caracterização Climatológica da Precipitação

Maceió está situado na região litorânea de Alagoas. Climatologicamente apresenta clima quente e úmido, com altura média anual em torno de 1500 mm a 2000 mm, onde o período chuvoso se concentrado no outono - inverno e o período seco na primavera – verão (LIMA, 1991).

Durante o inverno, cerca de 60% da precipitação pluviométrica anual ocorrem durante esta estação, compreendendo os meses de maio a julho (RAO *et al.*, 1993). Sistemas como Brisa, Instabilidade, resto de frentes, contribuem para o aumento das alturas pluviométricas, diminuindo a quantidade de dias seco em Alagoas nessa estação (ARAÚJO *et al.*, 2002;). Segundo Souza *et al.* (1996) a quadra chuvosa tem início no 2º decêndio de abril, com probabilidade de 75% de ocorrência.

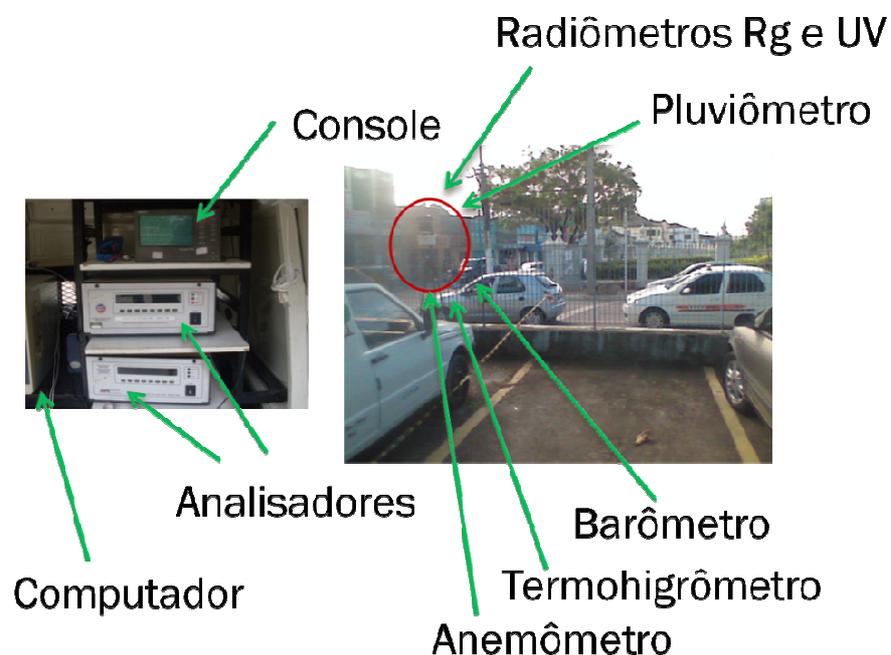
Os aspectos climáticos que mais influenciam os Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil, em especial a região de Alagoas, onde o clima é quente e úmido, são as massas de ar tropical marítima e a penetração do ar frio polar

(RATISBONA, 1976; KOUSKY, 1979; OLIVEIRA, 1986; CAVALCANTI et al, 1996), principalmente os sistemas frontais, ou seus restos, que atingem o sul da Bahia. Estes fenômenos de grande escala estão mais diretamente relacionados com a precipitação pluvial. Outros fenômenos meteorológicos que também exercem influência na precipitação pluvial do litoral leste do Nordeste do Brasil são as linhas de instabilidade costeira, variação sazonal dos ventos, posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical causada por anomalia na temperatura da superfície do mar do Atlântico (HASTEMATH e SHUKLA, 1981; SERVIAN e LUCAS, 1990; NOBRE, 1994), citados por LIMA (1991) e CAVALCANTI et al (1995).

### 3.1.3 Equipamentos e Procedimentos

O monitoramento dos parâmetros químicos e físicos da atmosfera foi medido com frequência de dados de 10 minutos. A medição das concentrações de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) se deu de forma contínua, por um analisador NITROGEN DIOXIDE ANALIZER 200A (Teledyne - API, EUA), pelo método de **quimiluminescência**, que interligado a uma bomba de sucção à vácuo (API-Teledyne, EUA), conduzia o ar do ambiente externo para o analisador (ambiente interno) por uma mangueira de 10 metros de teflon azul de 1/4" (6.325mm). E o monitoramento dos parâmetros físicos atmosférico, utilizou-se uma estação meteorológica automática da VantagePro2 (Davis, EUA). Os dados eram transmitidos via Wireless para uma console (receptor), que por sua vez, os dados eram acumulados num Datalogger interno, e posteriormente

transferidos para um computador via cabo elétrico e um software específico do fabricante.



**Figura 4** – Local do monitoramento e equipamentos utilizados na medição dos parâmetros físicos e químicos da atmosfera no centro de Maceió-AL.

Os dados coletados foram conferidos, tratados, e selecionados. Utilizou-se para tratamento dos dados uma planilha eletrônica, e para confecção das figuras, um software específico de interpolação pelo método krigging, com resolução de 100 linhas por 100 colunas.

#### 3.1.4 Analisador dos Óxidos de Nitrogênio (NO + NO<sub>2</sub>)

Para o monitoramento dos óxidos nitrogenados foi utilizado um analisador de NO<sub>x</sub>(NO+ NO<sub>2</sub>) API Modelo 200 A, da empresa Teledyne Technologies Company (E.U.A). Tal equipamento funciona com o método de quimiluminescência (Figura 5).

Foi usado uma mangueira Teflon de azul de 1/4" (6.325mm) a uma distância de 10 metros dos analisadores, onde na ponta extremidade externa foi colocado um funil, a fim de evitar sucção de água da chuva, evitando danos aos equipamentos. Já na outra extremidade possuía uma bomba a vácuo (empresa), onde conduzia o ar externo através de conexões de mangueira de Teflon, sendo distribuído para os analisadores.

Posteriormente, o analisador de NOx foi configurado para que registrasse dados médios com intervalo de 10 minutos, em ppb. Os dados foram armazenados no datalogger interno, com armazenamento, e através de um software específico APICOM 4.0.9 da Teledyne, na qual eram feitos download da memória do analisador e armazenados na memória do computador.

Na Tabela (3), apresenta algumas especificações do analisador de NOx.



**Figura 5** – Foto do analisador de óxidos nitrogenados NOx (NO+NO<sub>2</sub>) utilizado no experimento.

**Tabela 3** – Especificações técnicas do analisador de NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>).

<b>Parâmetros</b>	<b>NO<sub>x</sub>(NO+NO<sub>2</sub>)</b>
Resolução	0.1 m/s
Ranger	1 a 20.000ppb
Precisão	±0.5%
Limite inferior de detecção	0,4ppb
Tempo de Resposta	20 segundos
Linearidade	1%
Resposta Espectral	
Temperatura de operação	+5° a +40°C
Umidade Relativa	0 – 95% s/condensação
Unidades	ppb, ppm, µg/m <sup>3</sup> , mg/m <sup>3</sup>

### 3.1.5 Parâmetros Meteorológicos

Para o acompanhamento das condições atmosféricas no local de estudo, foi utilizado uma estação meteorológica da WeatherLink Pro2 da Davis Instruments (E.U.A), compostas pelos seguintes sensores ficaram a 2 metros de altura em relação ao solo com dados médios a cada 10 minutos. (Tabela 4):

**Tabela 4** – Equipamentos de medição e sua função.

<b>Parâmetros</b>	<b>Função (ões)</b>
Termohigrômetro	Medição da temperatura e umidade relativa do ar
Pluviômetro	Medição das alturas pluviométricas (chuva)
Radiômetro de Radiação Solar	Medição da intensidade de radiação solar
Radiômetro de Ultravioleta	Medição da intensidade de radiação ultravioleta
Barômetro	Medição da pressão atmosférica
Anemômetro e Direção do Vento	Medição da velocidade e direção do vento

### 3.2 Tratamento dos Dados

Para o cálculo do índice de claridade (nebulosidade) que consta pela razão de Irradiação solar global (Rg) medido em superfície e irradiação solar no topo da atmosfera ( $I_o$ ), definido pela equação definida por Iqbal(1983):

$$k_t = \frac{R_g}{I_o}$$

Onde

$$I_o = I_{sc} E_o (\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega)$$

Onde  $I_{sc}$  representa a constante solar equivalente a  $1367 \text{ W m}^{-2}$ ,  $E_o$  é o fator de correção da excentricidade da órbita da terra,  $\delta$  é a declinação solar;  $\phi$  é a latitude local e  $\omega$  é o ângulo horário.

Para classificação da cobertura de nuvens sobre o experimento utilizou-se as seguintes condições (IQBAL, 1983):

**kt < 0,30** – cobertura de céu nublado;

**0,30 < kt < 0,65** – cobertura de céu parcialmente nublado;

**kt > 0,65** – cobertura de céu limpo.

No caso do Rg, foram utilizados os dados medidos por um sensor de radiação solar instalado na estação meteorológica, e posteriormente empregado nessa nas equações.

E para estimar a irradiância no topo da atmosfera ( $I_o$ ) teve a necessidade de se calcular a correção da excentricidade da órbita da terrestre ( $E_o$ ) dada pela equação:

$$E_o = \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2$$

onde:

$$\left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \operatorname{sen} \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \operatorname{sen} 2\Gamma$$

Sendo

$$\Gamma = 23,45 \operatorname{sen} \left( \frac{360}{365} (284 + dn) \right), \text{ dn representa a data no calendário Juliano.}$$

A declinação solar local expressa por:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left( \frac{360}{365} (284 + dn) \right)$$

Onde, dn corresponde ao número de dia no ano.

O Zênite Local é dado por:

$$\cos \zeta = \operatorname{sen} \phi \cdot \operatorname{sen} \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos H \quad (\operatorname{sen} \phi \cdot \operatorname{sen} \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos H)$$

Onde

$R_o$  = Irradiância no topo da atmosfera;

$\phi$  = Latitude local;

$\delta$  = Declinação solar;

$H$  = Ângulo horário solar;

Para o cálculo da frequência de fotólise  $j(\text{NO}_2)$  utilizou-se a equação baseado no estudo empírico de Trebs et al (2009)

$$j(\text{NO}_2) = B_1 \times G + B_2 \times R_g^2$$

Onde,

$$B_1 = 1.47 \times 10^{-5} (\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{s}^{-1});$$

$$B_2 = -5.32 \times 10^{-9} (\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{s}^{-1});$$

$R_g$  = Radiação Global ( $\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

Os dados de precipitação diários acumulados de 11 a 15 de julho de 2009 foram adquiridos pelo site <http://meteorologia.semarh.al.gov.br/consultas/> da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) do estado de Alagoas de acordo com os postos pluviométricos descrita na Tabela 5.

**Tabela 5** – Localização das estações pluviométricas no município de Maceió – AL.

<b>Município</b>	<b>Bairro</b>	<b>Tipo</b>
Maceió	Tabuleiro dos Martins (UFAL)	PD <sup>1</sup>
Maceió	Jacarecica (antiga COBEL)	PC <sup>2</sup>
Maceió	Trapiche (B.Bombeiros)	PC <sup>2</sup>

<sup>1</sup>PD=Pluviômetro

digital;

<sup>2</sup>PC=Pluviômetro

convencional

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

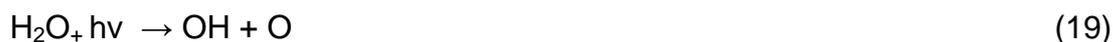
### 4.1 Variação horária das concentrações de NO, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>

No comportamento diário das concentrações de NO e NO<sub>2</sub> no centro de Maceió/AL possuem pelo menos dois períodos distintos, o diurno e o noturno. Os diurnos apresentaram suas maiores concentrações e se mostram bastantes dispersos, enquanto que, no período noturno apresentaram concentrações inferiores e relativamente constantes (Figura 7,a,b,c).

Esperava-se que as concentrações dos óxidos nitrogenados durante o período diurno apresentassem concentrações relativamente inferiores ao noturno, haja vista que, ele participa na formação do ozônio troposferico (2). Onde, nos primeiros raios solares incidentes na superfície do experimento, as reações fotoquímicas são ativadas, o NO reage com o O formando NO<sub>2</sub> (18) e com a fotólise do NO<sub>2</sub> (1) , propicia a liberação de átomos de oxigênio e NO, contribuindo assim para a formação ozônio troposférico (2), reações seguintes:



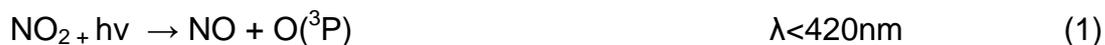
Além disso, a diminuição da umidade relativa (UR) pelo aquecimento da superfície pelos raios solares gera a dissociação da água no estado de vapor transformando em radicais de hidroxila (19), que por sua vez reage com o NO<sub>2</sub> formando o precipitado de ácido nítrico (20):



Outro processo de formação e regeneração dos radicais de hidroxila na atmosfera se deve aos átomos de oxigênio (O) excitado reagindo com o vapor d'água (H<sub>2</sub>O) formando a hidroxila (OH) (21):



Podendo também o oxigênio atômico ser proveniente com a fotólise do NO<sub>2</sub> (1) e rompimento da ligação molecular do oxigênio (22)



No entanto, as concentrações desses óxidos no período diurno apresentaram-se relativamente superiores ao período noturno. Este fato se deve a emissão desses contaminantes atmosféricos por fontes móveis como ônibus, carros, motocicletas entre outros, que são fontes em potencial de poluentes para a atmosfera.

Na figura 7 (a,b,c) verifica-se episódio de poluição às 8:00, 12:00, 18:00 e 22:00 horas local nas concentrações do NO e NO<sub>x</sub>, indicados nas setas, causados principalmente pelo tráfego intenso de veículos nos respectivos horários.

Percebe-se que há uma divergência nos horários em que ocorrem as maiores oscilações nas concentrações de NO e NO<sub>2</sub> ao amanhecer. O episódio de poluição de NO<sub>2</sub> (Figuras 7 a,b) ocorreram posteriormente do NO. Isso se deve a interação das reações fotoquímicas que produzem o NO<sub>2</sub> a partir do NO. Além disso, o tráfego veicular contribuiu para ampliar a intensidade do NO às 8:00 horas, pois, nesse horário, a população trabalhadora se deslocam para o centro comercial. As maiores concentrações de NO e NO<sub>2</sub> ao amanhecer foram 49,1ppbv (8:00-14/07) e 17,5 ppbv (8:40 - 14/07), respectivamente.

Nota-se que no período da 0:00 hora às 6:00 horas, as concentrações em grande parte do NO<sub>x</sub> se situam no intervalo entre 10 a 20 ppbv, onde cerca de 66,1% dos dados esteve compreendido a tal intervalo, com seu ápice de 42,8% entre 15-20ppb. Aproximadamente 34% do NO<sub>x</sub> estão acima de 20ppbv.

Uns dos processos de remoção ou sumidouro dos NO<sub>x</sub> deve-se a reação de destruição ozônio troposférico (O<sub>3</sub>) com o monóxido e o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), formando o nitrato (NO<sub>3</sub>)(18,23,24).



A umidade relativa (H<sub>2</sub>O) presente na troposfera na Figura 10, além dos processos físicos e dinâmicos da atmosfera envolvidos, tem como origem as reações químicas, com a destruição do ozônio troposférico (23), propiciando a formação de moléculas de H<sub>2</sub>O. Onde os átomos de O liberados da fodiassociação do O<sub>3</sub>, oxidam-se com a hidroxila formando HO<sub>2</sub>(25) que por sua

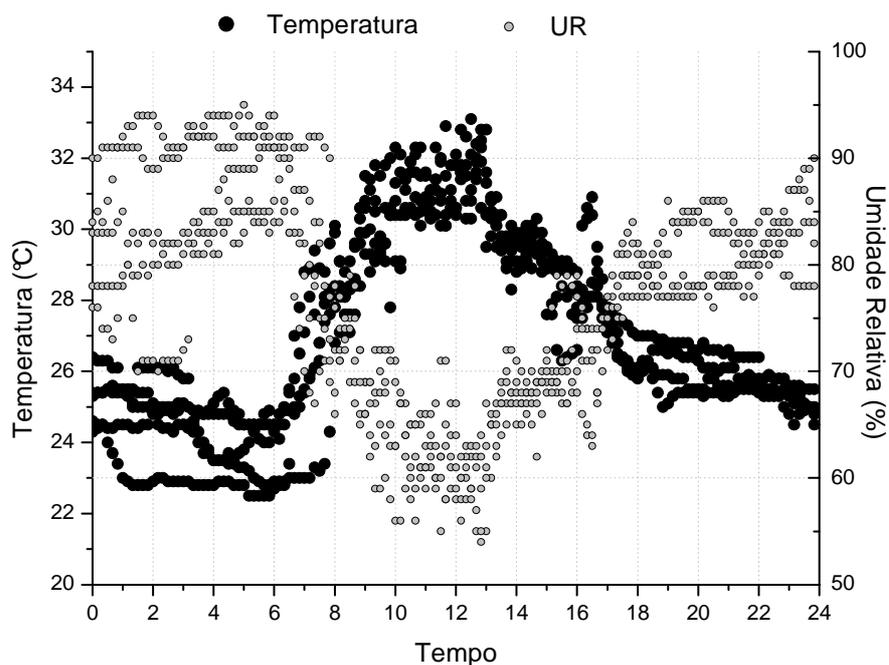
vez reage com o ozônio(26) , liberando radicais de hidroxila (OH), que reage com o . HO<sub>2</sub> para formar a água (27).



Por outro lado este aumento da concentração H<sub>2</sub>O a atmosfera propicia um dos importantes mecanismos de remoção dos óxidos nitrogenados durante o período noturno para formação do ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) a partir N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> do conforme as reações (28) e (29).



E dessa forma, as concentrações dos óxidos nitrogenados decrescem e permanecem relativamente constantes nesse período, provocando equilíbrio químico dessas substâncias na atmosfera (Figura 12).



**Figura 6** – Ciclo horário da temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) no período de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.

A diminuição da radiação solar em superfície propicia uma diminuição da fotólise do ozônio, liberando átomos e moléculas de oxigênio (23), que por sua vez oxida a molécula de NO, contribuindo para a formação de NO<sub>2</sub>(3) . Outro fator para a contribuição do NO<sub>2</sub> se deve a emissão de NO que por sua vez reage com o O<sub>3</sub>, formando o NO<sub>2</sub>(18). Portanto, as reações de formação do NO<sub>2</sub> nesse momento é a junção da emissão veicular com as reações de destruição do ozônio troposférico e a baixa fotólise do NO, acarretando o aumento das concentrações do NO<sub>2</sub>.

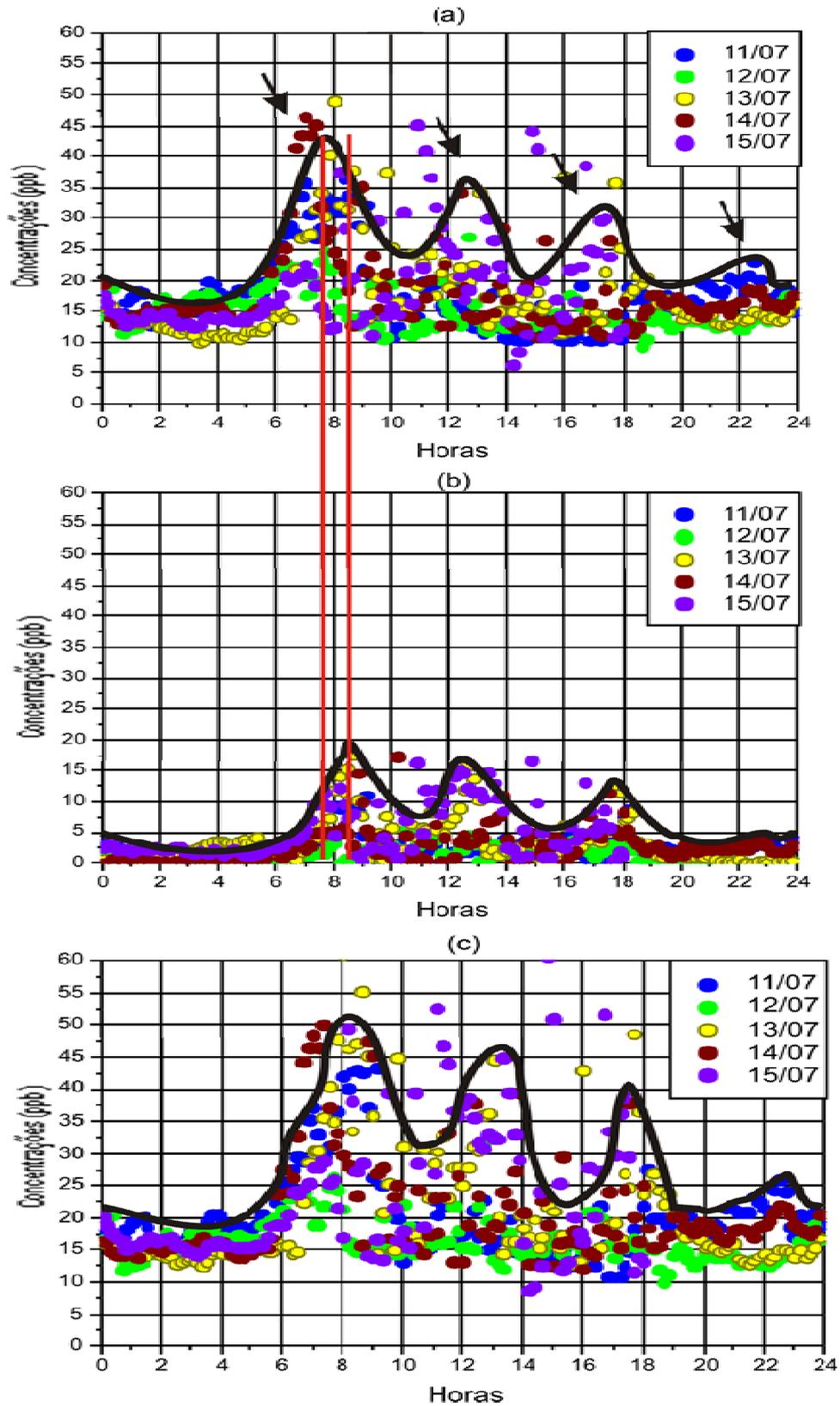


Em seguida este NO<sub>2</sub> formado pode ser destruído pelo radical hidroxila (OH) no estado gasoso, resultando no ácido nítrico (30), principal responsável pelas chuvas ácidas que ocorrem na região (ROGÉRIO, 2004).



A ocorrência de episódios de poluição está associada ao tráfego intenso de veículos na região em estudo, correlacionando com as condições climáticas adversas da atmosfera, e fotólise do NO<sub>x</sub>.

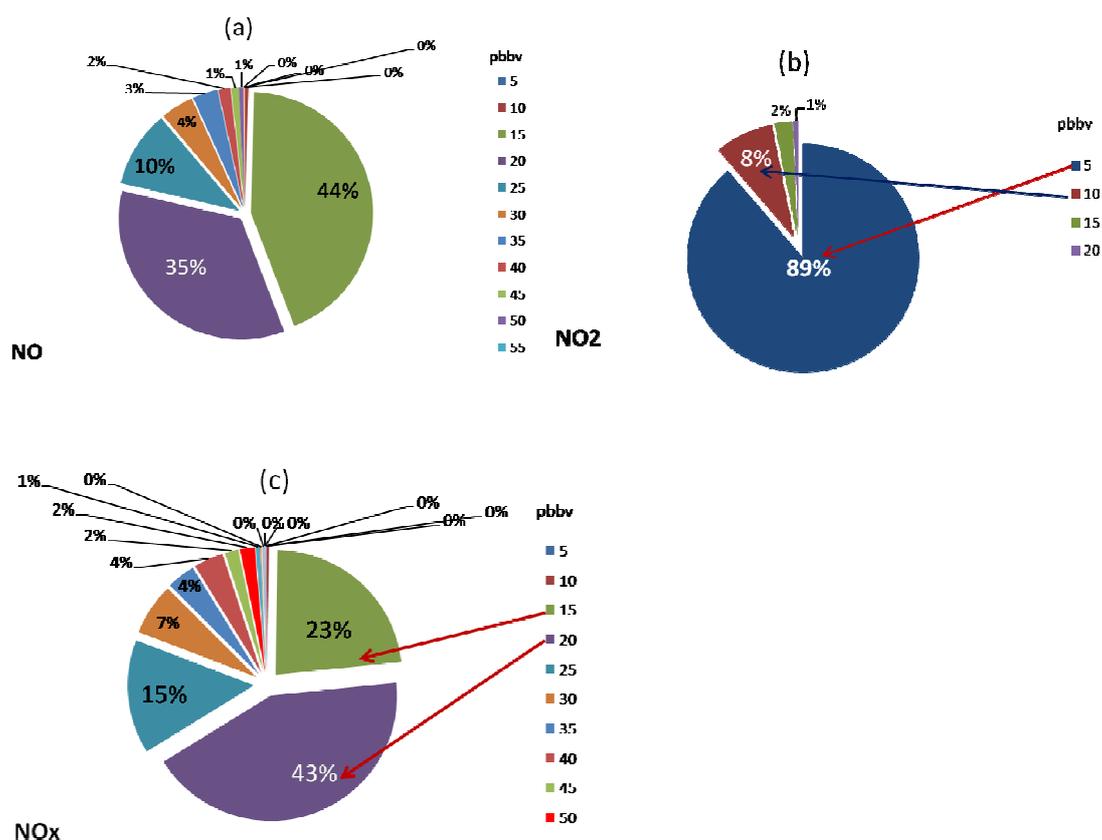
Verifica-se que grande parte do NO<sub>x</sub> se deve ao monóxido de nitrogênio (NO), no qual nos horários de 0 a 6 horas, compreende ao intervalo de 10 a 20 ppbv. Nota-se que nesse mesmo horário, as concentrações de NO<sub>2</sub>, situa-se, em grande parte abaixo de 4ppbv.



**Figura 7** - Distribuição média das concentrações de NO (a), NO<sub>2</sub> (b) e NO<sub>x</sub>(c), de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.

## 4.2 Estatística das Concentrações dos NO, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>

Verifica-se na Figura 8(a,b,c) que cerca de 21,3 % dos dados de NO estão acima de 20ppb e 78,7 % estão abaixo de 20 ppbv, sendo que 43,8 % se encontram no intervalo de 10-15ppbv. No caso do NO<sub>x</sub>, 33,9% se encontram superiores a 20ppb. e 66,9% se encontram abaixo de 20ppb. Sendo que grande parte de suas concentrações, 42,8% se encontram no intervalo de 15-20 ppbv, haja vista que o NO<sub>x</sub> resulta do NO+NO<sub>2</sub>. As concentrações do NO<sub>2</sub>, 21,6% se situam abaixo de 4ppb (NO<sub>2</sub>). 78,4% se encontra abaixo de 4 ppb, sendo que 46,3 % se encontram abaixo de 2ppb e 32,1% ppbv estão entre 2-4 ppbv.



**Figura 8** - Frequências das concentrações médias de NO(a), NO<sub>2</sub> (b) e NO<sub>x</sub> (c), 24 horas, de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió - AL.

Analisando a variabilidade dos parâmetros meteorológicos durante o experimento (Tabela 6), verifica-se uma diminuição da UR em cerca de 3,1% (15/12), deve-se inicialmente ao aumento do fluxo do Rg (101,5%) e com a fotólise da água (19) contribuindo para oxidação do NO emitido pelos veículos(18) . No caso da relação do quociente entre NO/NO<sub>2</sub>, decresceu do dia 12/07 ao dia 15/07, obtendo uma redução de aproximadamente 50% entre os dias estudados, apesar dos seus maiores valores obtidos no ultimo dia



Nota-se que nos dias nos dias 11/07, 12/07 e 15/07 a velocidade do vento tiveram médias semelhantes, mas nos dias 13/07 e 14/07 se mostraram superiores aos dias mencionados (Tabela 6). O que pode ter contribuído para o transporte de poluentes provenientes de outras regiões para o local em estudo.

**Tabela 6** – Médias das concentrações dos óxidos nitrogenados e de algumas variáveis meteorológicas de 8 horas às 17 horas, de 11 a 15 de julho de 2009.

Parâmetros	Dias					
	11	12	13	14	15	15/12(%)
NOx(ppbv)	19,9	16,7	22,5	22,7	29,5	175,9
NO(ppbv)	16,8	14,4	18,5	18,5	22,1	153,8
NO <sub>2</sub> (ppbv)	3,1	2,4	4,2	4,2	7,4	309,4
Rg (W/m <sup>2</sup> )	388,5	476,7	454,8	496,7	483,9	101,5
jNO <sub>2</sub> (x10 <sup>-3</sup> )	4,5	5,4	5,0	5,5	5,3	97,3
UR(%)	62,2	65,2	63,4	60,0	63,2	96,9
V.Vento (m/s)	1,8	1,3	2,5	2,4	1,5	111,4
NO/NO <sub>2</sub>	5,4	6,0	4,5	4,5	3,0	49,7
NO/NOx	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	87,4
NO <sub>2</sub> /NOx	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	175,9

As precipitações ocorridas nas regiões circunvizinhas, a UR (%) para o dia 12/07 apresentou, em média, superior aos demais dias. Onde as alturas pluviométricas no posto pluviométrico do Trapiche (PPT) tiveram acumulado para esse dia 8,7mm e 2,9 mm para 15/07, e o posto pluviométrico do Jacarecica (PPJ) com 16,6 mm e 4,6mm para 15/07 (Figura 13). Tendo em vista que nos horários em estudo, não se registrou precipitações pluviométricas no experimento. Segundo Ferreira (2009) menciona na sua dissertação que as precipitações nessa região têm grande frequência de chuva pela madrugada. Percebe-se que no período com maiores precipitações,

A direção predominante do vento foi de 38,2% de origem SSE, enquanto que 10.9% de sul - sudoeste (SSO), 10.9% de oeste (O), e 5, de noroeste (NO), sendo esses últimos, sentidos do bairro trapiche região circunvizinhas que apresentou precipitação no período estudado (8,7 mm) (ver Apendice A). Estes fenômenos pode ter contribuído para uma diminuição significativa dos óxidos nitrogenados nessa região, onde a deposição líquida decorrente a reação da água no estado líquido (30). Além disso, as maiores concentrações coincide com o corredor da rua em monitoramento.



Segundo Correia Filho e Aragão (2009) cerca de 70% dos dados de predominância do vento situam nos quadrante correspondente ao E (leste) e S (sul). Já Bernardo e Molion (2000) mencionam que 66% do vento têm predominância no quadrante sudeste (SE), sendo 31% em ESE e 45% SSE. Já para o mês de julho, Rocha e Lyra (2000) encontraram 67% para o

quadrante SE. Portanto, a predominância da direção do vento encontrada nas figuras (Figura 9 a,b,c,d,e) se mostra pertinente a tais trabalhos.

Em relação s concentração média dos componentes estudados observa-se que durante o dia 11/07 (sábado) e domingo dia 12/07, foram os períodos que apresentam menores concentrações de óxidos nitrogenados, tendo em vista que, decorrentes das condições atmosféricas e diminuição do fluxo veículos, propicia a transformação fotoquímica de  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}$  em  $\text{O}_3$ .



**Figura 9** – Freqüência da direção do vento (%), das 8 às 17 horas, durante os dias 11 a 15 de Julho de 2009 (a,b,c,d,e), respectivamente, no Centro – Maceió/AL

Na figura 10, mostra a evolução temporal das concentrações dos óxidos nitrogenados  $\text{NO}_x(\text{NO}+\text{NO}_2)$  , no período de 8h às 17h, de 11/07 a 15/07, monitorado no centro da cidade de Maceió-AL. Percebe-se que as concentrações dos  $\text{NO}_x$  se mostram bastante variáveis no tempo, pois, a interação das condições atmosféricas e da intensidade do fluxo de veículos automotores condicionam o nível de poluição num certo ambiente. De forma geral, no final de semana (11/07 e 12/07), as concentrações do  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}$  apresentam em grande parte concentrações abaixo de 20ppb, enquanto que o  $\text{NO}_2$  situaram abaixo de 4ppb e certas horas no intervalo de  $0 \leq \text{NO}_2 \leq 2$  ppb.

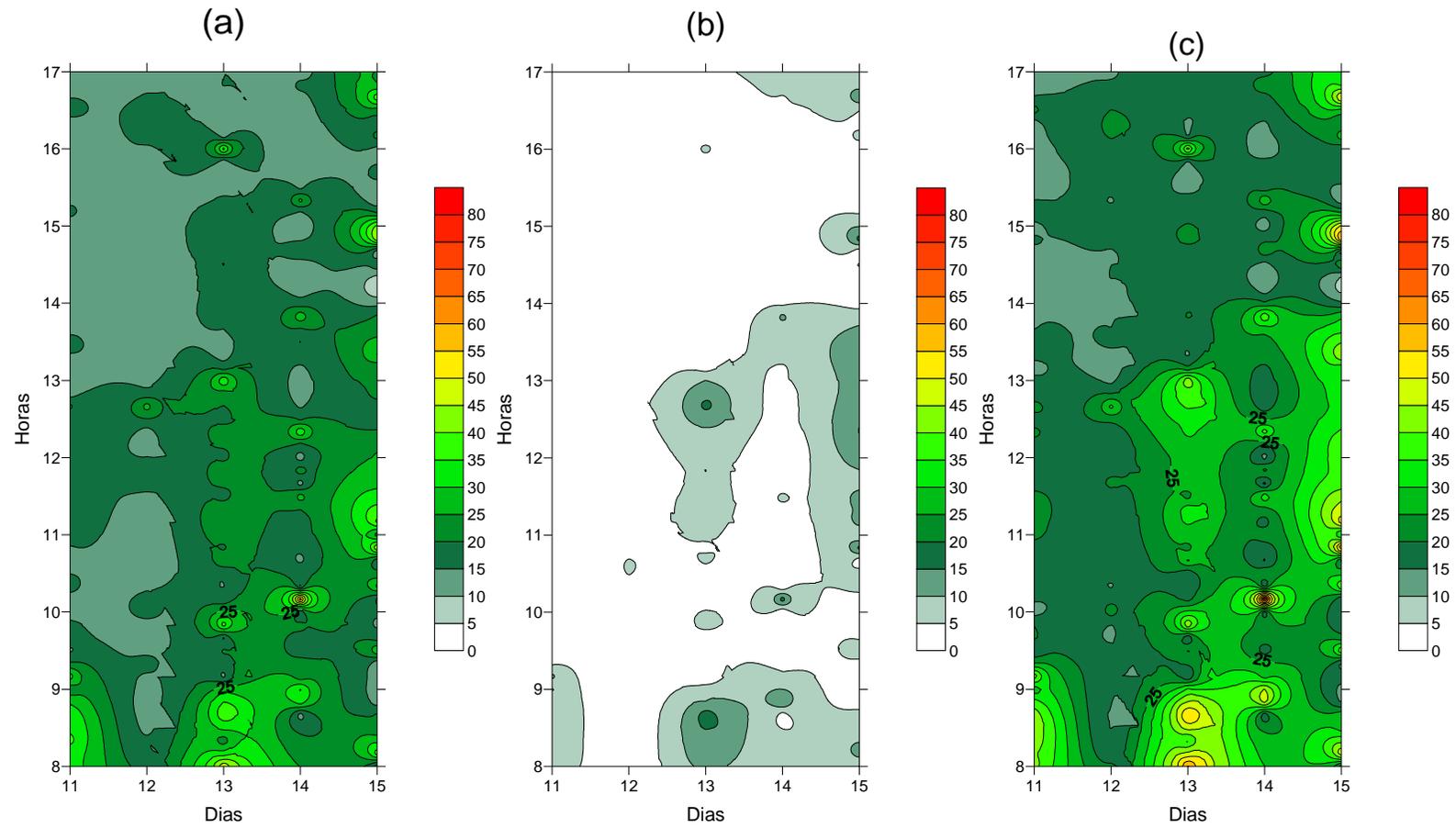
Durante 8h às 9h (11/07) a elevação das concentrações do  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$  se deve principalmente a interação de formação desses óxidos devido aos resíduos ou substâncias químicas formadas no ciclo noturno, com a intensificação do fluxo veicular nesse local. No entanto, o expediente de trabalho comercial se estende até o meio dia, com isso, o comportamento desse dia 12/07 diferem para os demais dias, pois,

Os maiores IUVs situaram-se entre 10h às 13h, estando no intervalo de  $5 \leq \text{IUV} \leq 8$  (Figura 11). Percebe-se que no dia 12/07 foi o dia em que se apresentaram os maiores valores de IUV por longo período. Fato esse se deve a redução da nebulosidade com  $k_t < 0,6$ , indicando cobertura de céu limpo, e com  $R_g \leq 800 \text{W/m}^2$ , e isso contribuiu para a formação dos poluentes secundários como o ozônio troposférico, levando ao consumo do  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ , reduzindo assim as concentrações desses gases na atmosfera, principalmente para esse dia. No ciclo horário, as concentrações dos  $\text{NO}_x$  entre 14h às 17h foram obtidos as menores concentrações.

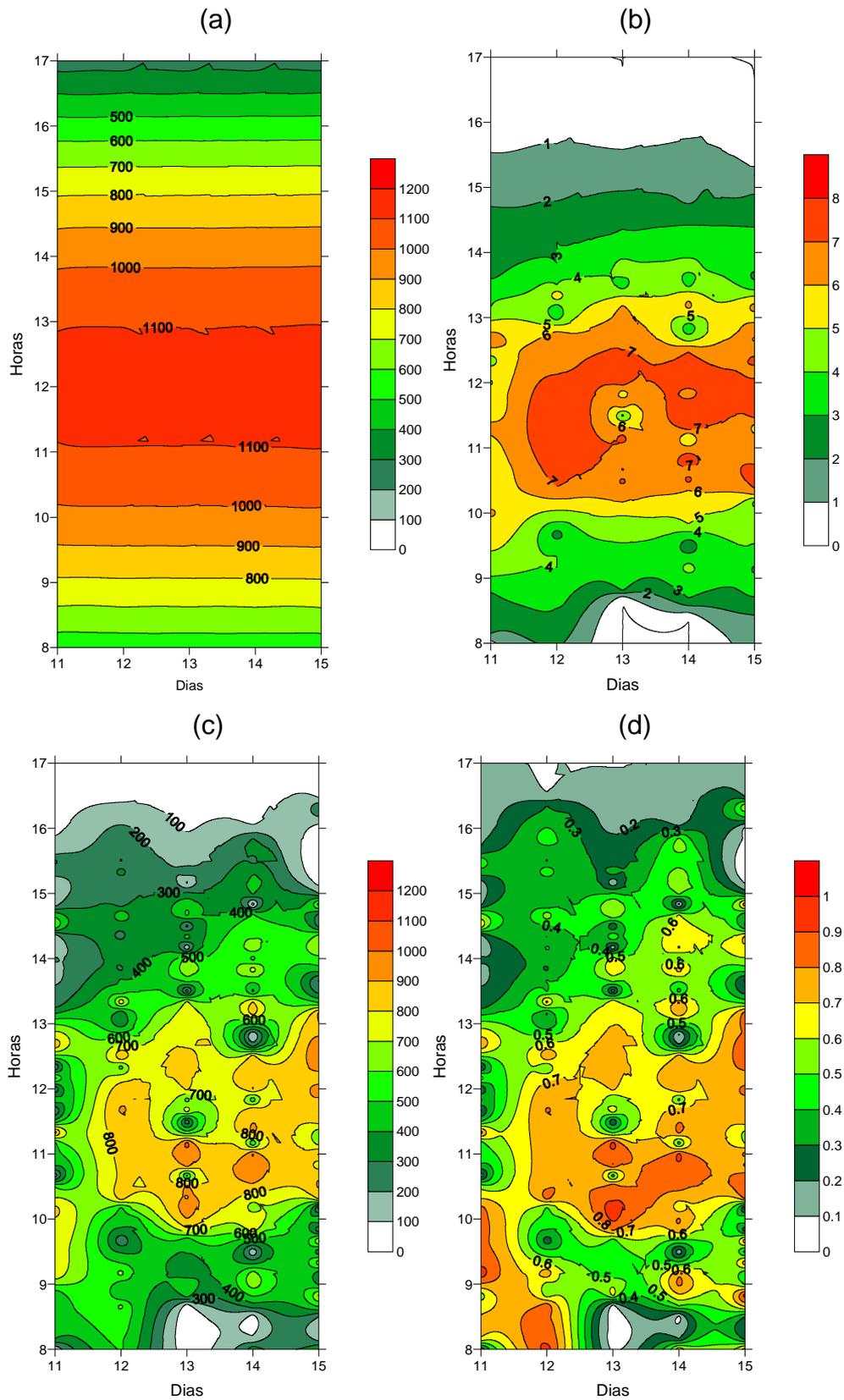
No período das 8h às 17h, vários picos podem ser observados correspondentes a interação das condições atmosféricas e emissão desses poluentes pelos veículos automotores nessa região Figura 10 (a,b,c). O NO é convertido em NO<sub>2</sub> via reação com o O<sub>3</sub> na presença da radiação solar, posteriormente o NO<sub>2</sub> é convertido em NO pela fotólise, regenerando o O<sub>3</sub>. A emissão do NO pelos automóveis contribui assim para a formação dos poluentes secundários. As variações de NO e NO<sub>2</sub> é claramente distinguido entre dias de semana e os horários correspondente. Na variação diária, as concentrações desses poluentes se mostram crescente de 11/07 para o dia 18/07. Tanto o aumento das concentrações desses gases tem correspondido ao aumento do fluxo veicular e congestionamento. A diminuição tanto do NO quanto do NO<sub>2</sub> é devido a conversão dessas substâncias nos poluentes secundários como o O<sub>3</sub>. O O<sub>3</sub> sendo esse produzido diretamente pela fotólise do NO<sub>2</sub>

A diminuição da radiação solar, conseqüentemente a temperatura e aumento da umidade relativa quebra da molécula de O<sub>3</sub> e formação do vapor d'água, umidade relativa, formação possivelmente os HNO<sub>3</sub> e N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo esses acumulado no período noturno, tornando um ciclo diário.,

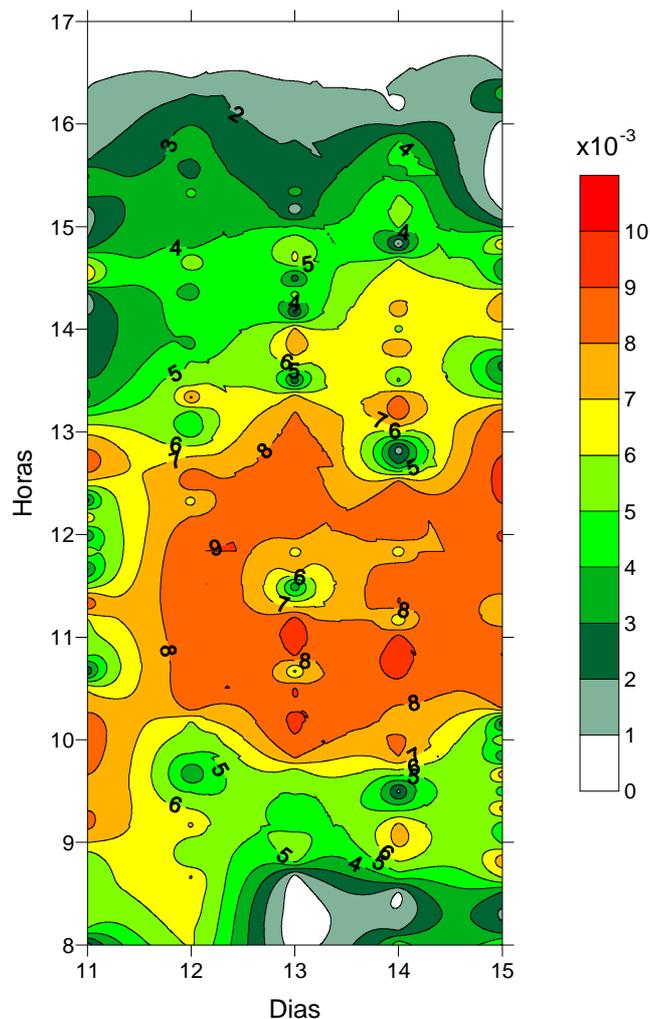
Entre os dias estudados, o domingo (12/07) foi o dia em que as concentrações dos óxidos nitrogenados apresentaram suas menores concentrações. Nesse período esse as lojas comerciais não funcionam e conseqüentemente, há diminuição do fluxo de veículos. Dessa forma, a ausência de fontes emissoras desses contaminantes atmosféricos favorece a formação do ozônio, consumindo os óxidos nitrogenados.



**Figura 10** - Concentrações médias de NO(a), NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (c) de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.

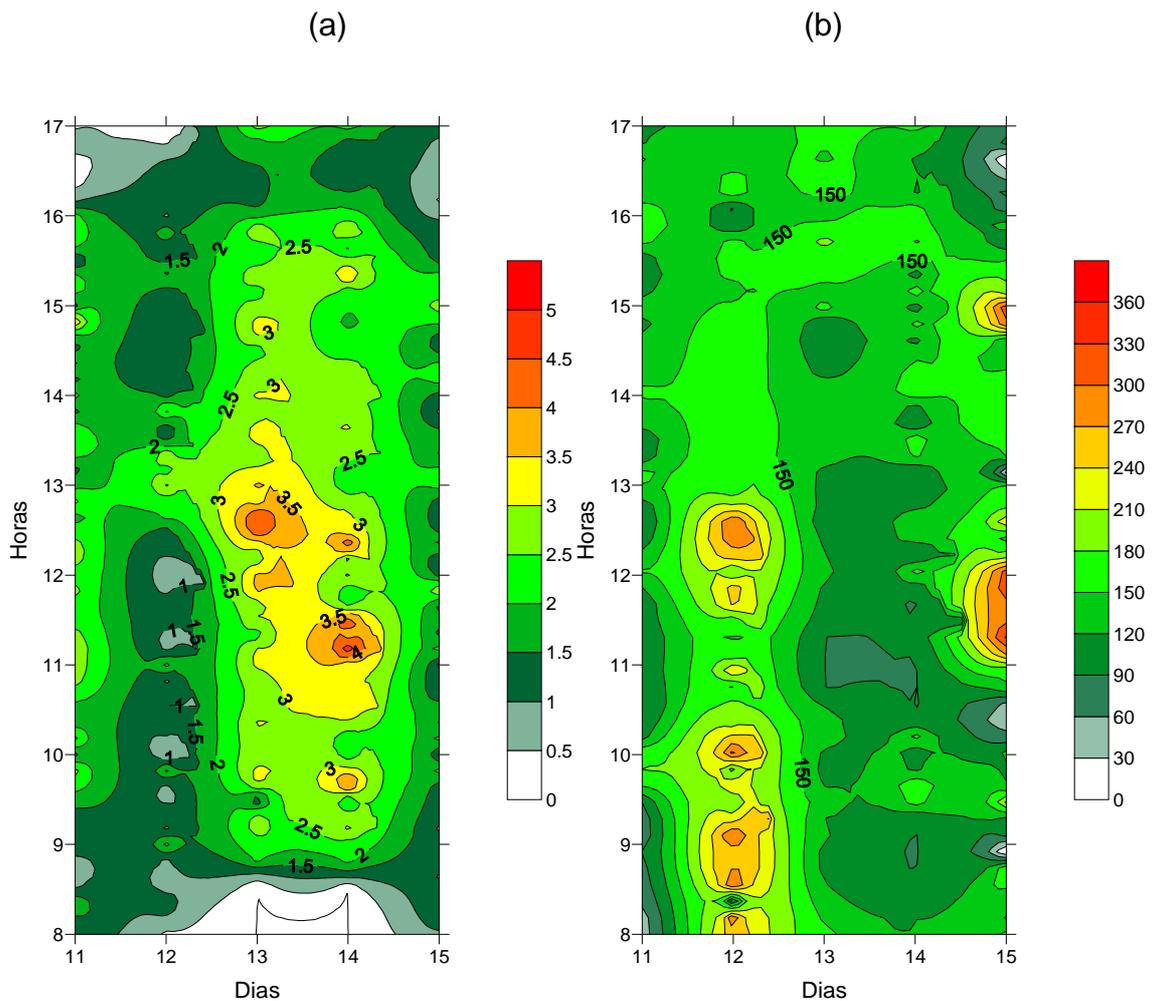


**Figura 11** – (a) Irradiância no topo da atmosfera ( $W/m$ ), (b) Índice de radiação ultravioleta (IUUV), (c) Radiação Global ( $W/m^2$ ) (d) Índice de claridade (kt) de 11 a 15 de julho de 2009, em Maceió-AL.



**Figura 12** – Taxa média de fotólise  $j(\text{NO}_2)$  no período de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió – AL, das 8 as 17horas..

A direção do vento predominante para esse dia situou em grande parte no intervalo de  $150^\circ$  a  $270^\circ$ , com velocidade do ar a baixo de  $1,5\text{m/s}$ , com exceção de alguns momentos. Embora que as maiores concentrações nos dias estudados foram obtidas aproximadamente nas mesmas condições do dia 12/07, o dia 15/07 (Quarta-Feira), a emissão de contaminantes atmosféricos de origem veicular e seu transporte pelo vento favoreceu a formação do  $\text{NO}_2$ , como pode ser observado nas Figuras 13 (a,b)



**Figura 13** – (a) Velocidade média do vento (m/s) e (b) direção do vento (°) de 11 a 15 de julho de 2009, Maceió-AL.

#### 4.3 Estudo de caso (NO, NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>)

Uns dos processos de remoção do NO e NO<sub>2</sub> durante o ciclo noturno, se deve a reação de destruição com o ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), formando o nitrato (NO<sub>3</sub>) (17, 18, 19).



A formação desse nitrato propicia um dos importantes mecanismos de remoção dos óxidos nitrogenados durante o período noturno, a formação do pentóxido de dinitrogênio ( $N_2O_5$ ) e do ácido nítrico ( $HNO_3$ ), a partir dos nitratos e com o vapor d'água ( $H_2O$ ) presente na atmosfera, conforme as reações (23) e (24).



Na Figura 14 mostra a evolução temporal do NO,  $NO_2$  para os dias 12/07 e 13/07, das 00:00 horas às 10:00 horas. A amplitude das concentrações no dia 13 tanto de NO e de  $NO_2$  se mostram superiores ao dia anterior. Além disso, enquanto que as concentrações de NO se mostram inverso ao  $NO_2$ , pois, para formar o dióxido tem a necessidade do consumo do NO, e por isso, no dia 12/07 teve esse comportamento. A partir do dia 13/07, a atuação de fontes móveis, houve um aumento significativo nas amplitudes tanto no NO quanto no  $NO_2$ , haja vista que, posteriormente às 6 horas o tráfego de veículos nessa região tende a agravar, conseqüentemente, os níveis de poluição também.

O retardo do pico do NO e  $NO_2$  para o dia 12/07 se deve principalmente atenuação da radiação solar nesse período, pois, a temperatura do ar depende da incidência dessa energia sobre a superfície, teve sua ascensão a partir das 7h40min (12/07), conseqüentemente, a umidade relativa acompanhou inversamente essa situação. E isso influenciou na taxa de fotólise desses

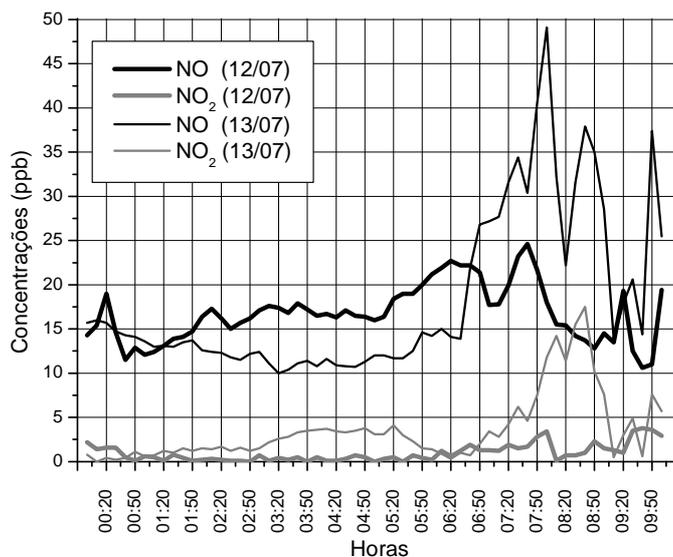
óxidos (Figura 15). Enquanto que para o dia seguinte, temperatura aumentou a partir das 5h50min.

No período de 0 às 5:20 horas (13/07) as concentrações NO<sub>2</sub> tem ascensão, passou de 0,8ppbv para 4,1ppbv, respectivamente. Enquanto isso, o comportamento das concentrações de NO foi inversamente a tal intervalo, decrescendo de 15,7ppbv para 11,7ppbv, nos respectivos horários. Fato esse deve pelo sumidouro do NO sendo convertido em NO<sub>2</sub>, onde a reação do NO com o ozônio formado durante o período diurno do dia anterior contribui para a reação de formação do NO<sub>2</sub> (3).

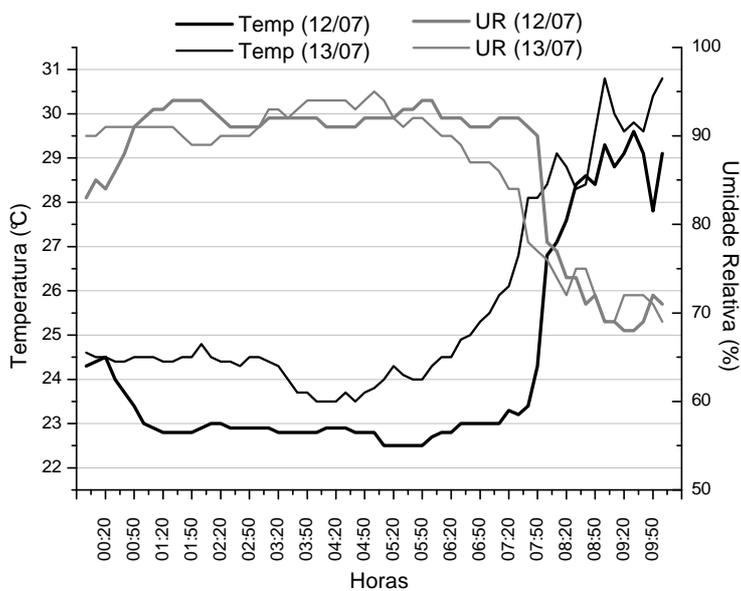


Nota-se que posterior a 5:20, as concentrações de NO<sub>2</sub> tem queda acentuada nas suas concentrações, onde apresentava nesse momento 4,1ppbv chegando a 0,3ppbv às 6:20 (15/07), enquanto as concentrações de NO se manteve relativamente constante. Essa diminuição de NO<sub>2</sub> nesse horário deve-se a sua fotólise e formação de ozônio troposférico ao amanhecer (1,2), haja vista que, as curvas têm deslocamento em relação ao NO. Enquanto o pico de NO ocorre às 8horas (49,1ppbv) o do NO<sub>2</sub> 40 minutos após, com 17,5 ppbv. A amplitude de tais óxidos é favorecida com o aumento da pressão atmosférica e aumento de tráfego de veículos.





**Figura 14** – Concentrações de óxidos nitrogenados (NO, NO<sub>2</sub>) para os dias 12 e 13 de julho de 2009, de 0 às 10 horas Maceió-AL, das de 0 às 10 horas.



**Figura 15** – Temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) para os dias 12 e 13 de julho de 2009, Maceió-AL, de 0 às 10 horas.

## 5 CONCLUSÃO

As concentrações dos óxidos nitrogenados se mostram sensíveis as mudanças meteorológicas, variação entre dias de fim de semana. Evidenciou que as maiores concentrações foram obtidas nos dias de semana, no dia 15/07 no período diurno, sendo os veículos automotores a principal fonte de emissão de tais e atenuantes nos dados. Durante a madrugada, foram apresentadas algumas reação que na presença da alta umidade relativa nesse período, propiciou algumas reações químicas que foram sumidouro dos NO<sub>x</sub>, assim, tendo nesse período relativamente as menores concentrações. No período diurno, os automóveis foram os principais atenuantes das concentrações dos NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>) apesar da radiação solar e de outros parâmetros meteorológicos.

## REFERÊNCIAS

ACKER, K, BEYSENS D., MÖLLER, D. Nitrite in dew, fog, cloud and rain water: An indicator for heterogeneous processes on surfaces. *Atmospheric Research*. 87, pp. 200–212, 2008.

ARAÚJO, E.J.R.; MATTOS, A.; SOUZA, J.L.; MOURA FILHO, G.; Determinação de períodos úmido e seco para o estado de Alagoas. **Anais**. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002.

ASHENDEN, T. W.; BELL, S. A. Growth responses of three legume species exposed to simulated acid rain. **Environmental Pollution**. 62 (1), pp. 21-29, 1989

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. 2ª edição, New York, W.H. Freeman and Company, 1998.

BERNARDO, S. O. ; MOLION, L. C. B. . Variabilidade do vento para cidade de maceió-al. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, RIO DE JANEIRO (RJ). **Anais**. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000.

CHAUHAN, A .J, HAZEL M INSKIP, CATHERINE H LINAKER, SANDRA SMITH, CHUNG, Y.S.; KIM, T.K.; KIM, K.H.. Temporal variation and cause of acidic precipitation from a monitoring network in korea. **Atmospheric Environment**. Vol. 30, No. 13, pp. 2429-2435, 1996.

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 e Natura**. Edição Especial. pp. 189-192, 2009.

DOLSKE, D.A., MEAKIN, J.D. Acid deposition impacts on historic bronze and marble statuary and monuments. **Materials Performance**, 30, pp. 53–57, 1991.

DRISCOLL, C.T.; POSTEK, K.M.; MATETI, D.; SEQUEIRA, K.; ABER, J.D.; KRETZER, W.J.; MITCHELL M.J.; RAYNAL, D.J. The response of lake water in the Adirondack region of New York to changes in acidic deposition. **Environmental Science & Policy**, 1, pp. 185 -198, 1998.

GONÇALVES, C. E. A. **Estudo da produção de óxido nitroso em cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris*)**. 2005. 89p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) –INPE. São José dos Campos.

GRODZIŃSKA-JURCZAKA, M.; U, SZAREK-ŁUKASZEWSKAB, G. Evaluation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> -related degradation of coniferous forest stands in Poland. **The Science of the Total Environment**, 241. pp. 1-15, 1999.

HANEEF, S.J., JOHNSON, J.B., DICKINSON, C., THOMPSON, G.E., WOOD, G.C., Effect of dry deposition of NOX and SO2 gaseous pollutants on the degradation of calcareous building stones. **Atmospheric Environment** 26A (16), pp. 2963–2974. 1992.

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Vancouver, Canada: Academic Press, 1983.

JACQUELINE SCHREIBER, SEBASTIAN L JOHNSTON, STEPHEN T HOLGATE. Personal exposure to nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and the severity of virus-induced asthma in children. **The Lancet**. Vol 361 • Jun 7, 2003.

KAZADZIS, S.; TOPALOGLOU, C.; BAIS A. F.; BLUMTHALER M.; BALIS, D.; KAZANTZIDIS, A.; SCHALLHART, B. Actinic flux and O<sub>1</sub>D photolysis frequencies retrieved from spectral measurements of irradiance at Thessaloniki, Greece. **Atmos. Chem. Phys.**, 4, 2215–2226, 2004

KURIYAMA, G. S., MOREIRA, J. C. SILVA, C. R. S. Exposição ocupacional ao dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) em policiais de trânsito na cidade do Rio de Janeiro. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, 13(4), pp. 677-683, out-dez, 1997

LIMA, M. C. de. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da região nordeste do Brasil.** (Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 1991. 222p.

LIMA, M. A. Emissão de Gases de Efeito Estufa. *Biotecnologia*. v. 17, p. 38-43, 2000.

KURIYAMA, G. S.; MOREIRA, J. C.; SILVA, C. R. S. Exposição ocupacional ao dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) em policiais de trânsito na cidade do Rio de Janeiro. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, 13(4):677-683, out-dez, 1997.

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.

PUDASAINEE, D.; SAPKOTA, B.; BHATNAGAR, A.; KIM S.H.; SEO, Y.C. Influence of weekdays, weekends and bandhas on surface ozone in Kathmandu valley . **Atmospheric Research** 95 (2010) 150–156

OKOCHI, H., KAMEDA, H., HASEGAWA, S., SAITO, N., KUBOTA, K. IGAWA, M.. Deterioration of concrete structures by acid deposition—an assessment of the role of rainwater on deterioration by laboratory and field exposure experiments using mortar specimens. **Atmospheric Environment** 34, pp. 2937–2945. 2000.

RAO. V.B., LIMA, M., FRANCHITO, S.H. Seazonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v.6, p.1754-1763, 1993.

REIS, A.S., MATTOS, A. NASCIMENTO FILHO, M.F., Influência de algumas variáveis meteorológicas na concentração do ozônio troposférico em Maceió –

Alagoas – Brasil. **Anais**. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Edição XI - Rio de Janeiro - 2000 CDROM.

ROCHA, C. H. E. D. ; LYRA, R. F. F. . Ocorrência de Brisas na Região de Tabuleiros Costeiros próximo a Maceió - AL. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. **Anais** do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. v. 1. p. 2340-2345.

ROGÉRIO, J. P.; BITENCOURT, F. C. A.; NASCIMENTO FILHO; M. F. Episódio de chuva ácida no nordeste brasileiro: Uma análise sinótica. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza/CE. **Anais**. Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 2004. CDROOM

ROGÉRIO, J. P. **Relação entre a composição química da água da chuva e as condições meteorológicas para a cidade de Maceió - AL**. Dissertação. 49p. 2004. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, UFAL, Maceió. 2004.

RUBSTEIN, I.; REISS, T. F.; BIGBY, B. G.; STITES, D. P.;BOUSHEY, H. A.,. Effects of 0,60 ppm nitrogen dioxide on circulating and bronchoalveolar lavage lymphocyte phenotypes in health subjects. **Environmental Research**, 55:18-30, 1991.

SADANAGA ,Y; SHIBATA S; HAMANA, M; TAKENAKA, N; BANDOW H. Weekday/weekend difference of ozone and its precursors in urban areas of

Japan, focusing on nitrogen oxides and hydrocarbons. **Atmospheric Environment** 42 (2008) 4708–4723.

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

SKIBA,U.; HARRIS,G.W.; WIENHOLD,F.G.; KLEMEDTSSON,L.; GALLE,B.,  
Micrometeorological and chamber methods for measurement of nitrous oxide fluxes between soils and the atmosphere: Overview and conclusions, **Journal of Geophysical Research**,v.99, n.D8, p. 16.541-16.548, 1994.

SOUZA, J. L. ; ANJOS, F. A. ; MOURA FILHO, G. ; MEIRA, P. R. .  
Características pluviométricas representativas do Tabuleiro Costeiro de Alagoas período 1972-1996. in: X congresso brasileiro de meteorologia e do VII Congresso da Federação Latino e Ibérica de Sociedades de meteorologia, 1998, Brasília. A modernização da Meteorologia Brasileira, 1998. v. único. p. 60-65

STEPHENS, E.R., 1969. The formation, reactions and properties of peroxyacyl nitrates in photochemical air pollution. **Advances in Environmental Science and Technology** 1, 119–146.

TREBS, I. ; B. BOHN, C. AMMANN,, U. RUMMEL,, M. BLUMTHALER,R.  
KOENIGSTEDT<sup>1</sup>, F. X. MEIXNER<sup>1</sup>, S. FAN, AND M. O. ANDREAE.

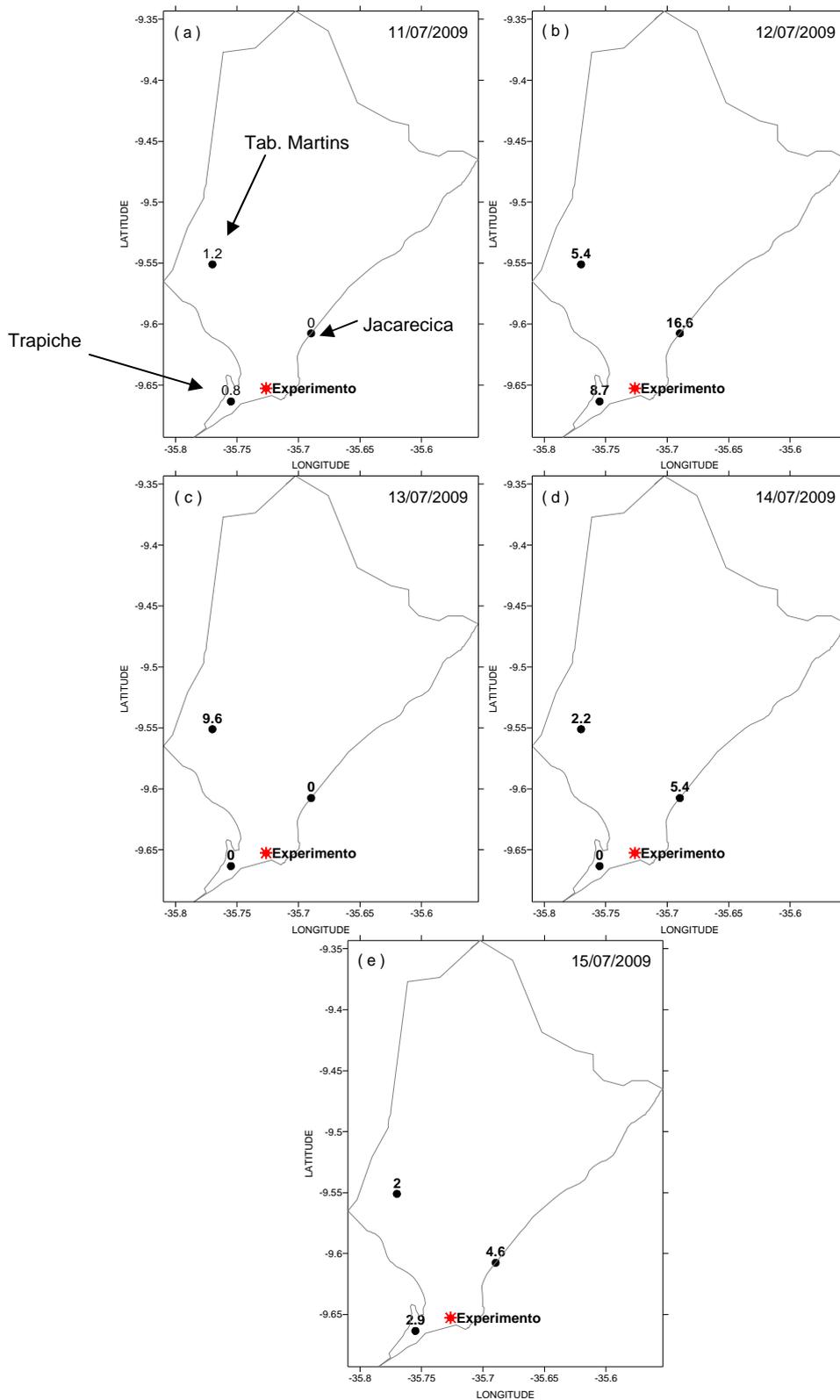
Relationship between the NO<sub>2</sub> photolysis frequency and the solar global irradiance. **Atmospheric Environment**, 40, pp. 4470- 4480, 2009.

XIE, S.; QI, L.; ZHOU, D. Investigation of the effects of acid rain on the deterioration of cement concrete using accelerated tests established in laboratory. **Atmospheric Environment**, 38, pp. 4457- 4466, 2004.

YAMULKI, S.; HARRISON, R.M.; GOULDING, K. W. T.; WEBSTER, C. P. N<sub>2</sub>O, NO and NO<sub>2</sub> fluxes from a grassland: Effect of soil ph. **Soil Biol. Biochem.** 29 (8), pp. 1199-1208. 1997

## APÊNDICES

**Apêndice A-** Precipitação acumulada diária (mm) nas estações pluviométricas localizadas nos bairros Trapiche, Jacarecica, e Tabuleiro dos Martins durante os dias 11 a 15 de julho de 2009 (a, b, c, d, e).



**Apêndice B** – Tábua das Marés para o Porto de Maceió/AL, de 11 a15 de julho de 2009.

<b>Data</b>	<b>Horário</b>	<b>Altura (m)</b>
<b>SAB</b> 11/07/09	05:49	2.0
	12:08	0.4
	18:19	1.9
<b>DOM</b> 12/07/09	00:17	0.6
	06:24	2.0
	12:45	0.5
	18:58	1.8
<b>SEG</b> 13/07/09	00:56	0.7
	07:04	1.9
	13:24	0.6
	19:41	1.8
<b>TER</b> 14/07/09	01:41	0.7
	07:53	1.8
	14:09	0.6
	20:30	1.7
<b>QUA</b> 15/07/09	02:36	0.8
	08:51	1.8
	15:08	0.7

**Fonte:** <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/30725Jul2009.htm>