

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

LENÍZIA DE SOUZA

**VARIABILIDADE TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DO MONÓXIDO DE
CARBONO E OZÔNIO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS**

Manaus - AM

2017

LENÍZIA DE SOUZA

VARIABILIDADE TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DO MONÓXIDO DE CARBONO E OZÔNIO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS

Monografia apresentada ao curso de graduação em Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Meteorologia.

Área de Concentração: Química da Atmosfera/Meteorologia por Satélite.

Orientador: Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza.

Manaus - AM

2017

LENÍZIA DE SOUZA

**VARIABILIDADE TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DO MONÓXIDO DE
CARBONO E OZÔNIO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS**

Monografia apresentada ao curso de graduação
em Meteorologia da Universidade do Estado do
Amazonas, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de bacharel em Meteorologia.

Data da aprovação: 09 de Junho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Rodrigo Augusto F. de Souza

Prof. Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza - Orientador
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

M.B. Oliveira

Prof.^a Dr.^a Maria Betânia Leal de Oliveira
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Rita Valéria Andreoli de Souza

Prof.^a Dr.^a Rita Valéria Andreoli de Souza
Universidade do Estado do Amazonas – UEA

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e à Escola Superior de Tecnologia (EST) pelo espaço cedido para realização deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais Laesse Souza e Zilvanira Andrade pela força e carinho. E aos meus queridos sobrinhos, Larissa Sabat, Zidanne, Vitor Hugo e Vitória.

Ao meu orientador, Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza pelo apoio e oportunidade disposta para a realização deste trabalho.

A todos meus companheiros de classe dessa jornada acadêmica na graduação desde Ian Matheus Amaral, Robson Azevedo até os mais recentes companheiros, Ivani Silva e Napoleão Henrique, e à Patrícia Costa pela ajuda vital e incentivo neste trabalho. E aos demais companheiros da meteorologia e professores, agradeço muito a participação e amizade de todos.

Meu agradecimento também, a todos meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse concluir esta etapa, Leonisia, Laerte, Ellen Cristine, Zivaldo, Andréia Silva, Ana Cristina, Rômulo Costa, Daniel Barros, Gisely Almeida, Danniely Souza, Tatiana Castilho, Regiane Sabat, Aldeci Loro e Luís Vandrez.

Agradeço

“Aí está um herói que outra coisa não fez senão sacudir a árvore logo que os frutos ficaram maduros. Isso lhes parece pouca coisa? Vejam, pois, a árvore que ele sacudiu.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Este estudo teve como propósito avaliar a variabilidade da concentração do monóxido de carbono (CO) e ozônio (O₃) sobre a Região Metropolitana de Manaus (RMM), analisando suas relações com focos de queimadas e eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS), a partir dos dados estimados pelo sensor *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS), a bordo do satélite AQUA para o período de 2003 a 2015. Os resultados mostraram um comportamento similar em relação ao ciclo sazonal das concentrações médias mensais do O₃ e CO, com os menores valores de CO e O₃ ocorrendo no primeiro semestre do ano e um aumento gradual a partir junho, com picos em setembro e outubro. Devido à maior ocorrência de focos de queimadas na região durante sua estação seca. Em relação à variabilidade associada ao ENOS, um aumento das concentrações de O₃ e CO foi observadas no ano de 2015, classificado como ano de El Niño, em relação ao ano de 2008 e 2011, classificado como ano de La Niña. As observações realizadas pelo satélite ambiental AQUA fornecem um conjunto de dados úteis para realizar estudos sobre a relação entre as condições climáticas e os níveis de poluição atmosférica na região.

Palavras-chave: Monóxido de carbono, ozônio troposférico, queima de biomassa, dados AIRS/AQUA.

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the variability of the concentration of carbon monoxide (CO) and ozone (O₃) over the Metropolitan Region of Manaus (RMM), analyzing its relationships with fires and El Niño Southern Oscillation (ENSO) events, from the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) sensor data on board the AQUA satellite for the period from 2003 to 2015. The results showed a similar behavior in relation to the seasonal cycle of the monthly average concentrations of O₃ and CO, with the lowest values of CO and O₃ occurring in the first half of the year and a gradual increase from June, with peaks in September and October. Due to highest occurrence of fires in the region during its dry season. In relation to the variability associated with ENSO, an increase in O₃ and CO concentrations was observed in the year 2015, classified as year of El Niño, in relation to the year 2008 and 2011, classified as La Niña year. The observations made by the environmental satellite AQUA provide a set of useful data for conducting studies on the relationship between climatic conditions and atmospheric pollution levels in the region.

Keyword: Carbon Monoxide, Tropospheric Ozone, Biomass Burning, AIRS/AQUA Data.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Processo de formação do ozônio troposférico. Fonte: Instituto de energia e meio ambiente- IEMA, São Paulo..... | 19 |
| Figura 2 - Região Metropolitana de Manaus..... | 26 |
| Figura 3 - Fluxograma representativo dos dados utilizados no trabalho..... | 29 |
| Figura 4 - Fluxograma das etapas da metodologia da primeira parte do trabalho. | 30 |
| Figura 5 - Informações apresentadas em um gráfico Boxplot. Fonte: Marcelo Petenate, Site da Escola EDTI, disponível em: http://mkt.escolaedti.com.br/ebook-como-fazer-analise-de-dados | 31 |
| Figura 6 - Fluxograma das etapas da metodologia do primeiro estudo de caso..... | 31 |
| Figura 7 - Fluxograma das etapas da metodologia do segundo estudo de caso. | 33 |
| Figura 8 – Ciclo anual da concentração média de CO e O ₃ no nível de 925 hPa para o período de 2003-2015..... | 34 |
| Figura 9 - Diagrama de caixas da concentração média do monóxido de carbono (a) e ozônio (b) para o período de 2003-2015, em 925 hPa. | 35 |
| Figura 10 - Acumulado mensal de focos de queimadas na região metropolitana de Manaus para o período de 2003-2016. Fonte: (http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas). | 36 |
| Figura 11 - Diagrama de caixas da concentração média do O ₃ para a cidade de Manaus, nos períodos de (a) 2011 e (b) 2015..... | 37 |
| Figura 12 - Concentração média do O ₃ mensal..... | 38 |
| Figura 13 - Precipitação média mensal para Manaus..... | 38 |
| Figura 14 - Temperatura média mensal para Manaus. | 39 |
| Figura 15 - Total mensal de focos de queimadas em Manaus para os anos 2011 e 2015. | 39 |
| Figura 16 - Concentração média do perfil de O ₃ entre 500 e 1000 hPa, para o período de 2003 a 2015, sobre a RMM. | 40 |
| Figura 17 - Total de focos de queima para o período de 2003 a 2016 na região metropolitana de Manaus. Fonte: < http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas >. | 41 |
| Figura 18 -Perfil vertical médio de O ₃ para RMM, para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c) e agosto (d), setembro (e) e outubro (f) em linha sólida, e desvio padrão do perfil médio apresentado para o mesmo período e variável em linha tracejada. | 42 |

Figura 19 - Perfil vertical médio de O₃ para RMM, para os dias chuvosos dos meses de fevereiro e março (a) e (c); e secos dos meses de setembro e outubro (b) e (d), considerando a série temporal de dados de (2003-2015) para os meses apresentados.....44

Figura 20 - Total de focos acumulados no mês de outubro de 2008 (a) e outubro de 2015 (b).

Fonte: Programa de Queimadas CPTEC/INPE. Disponível em

:<<http://www.inpe.br/queimadas/outros-produtos/mapas-mensais-filmes>.....45

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1- Dados dos municípios da região metropolitana de Manaus. Fonte: SEPLAN-CTI, 2014. | 26 |
| Tabela 2 - Resumo dos produtos AIRS utilizados no trabalho..... | 27 |
| Tabela 3 - Índice do Niño Oceânico (ONI). Períodos de aquecimento da temperatura da superfície do mar em vermelho e resfriamento em azul. Fonte: Adaptado de NOAA (2016), em < http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.sh ... | 32 |
| Tabela 4 - Limiares do padrão de qualidade do ar da CONAMA e OMS para o O ₃ troposférico. Fonte: WHO e CONAMA..... | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 | 12 |
| 1.1 Introdução | 12 |
| 1.2 Objetivo | 14 |
| CAPÍTULO 2 | 15 |
| 2.1 Revisão Bibliográfica | 15 |
| 2.1.1 Focos de queimadas na Amazônia..... | 15 |
| 2.1.2 Queimadas e as emissões de Monóxido de Carbono..... | 17 |
| 2.1.3 Dinâmica de formação do Ozônio troposférico..... | 18 |
| 2.1.4 Sistema de Sondagem AIRS, medições de CO e O ₃ | 21 |
| 2.1.5 Sistemas interanuais e sua influência na Amazônia | 23 |
| CAPÍTULO 3 | 25 |
| 3.1 Dados e Metodologia..... | 25 |
| 3.2 Descrição da área de estudo..... | 25 |
| 3.3 Dados utilizados | 27 |
| 3.4 Metodologia..... | 29 |
| CAPÍTULO 4 | 34 |
| 4.1 Resultados e Discussão..... | 34 |
| 4.2 Análises da variabilidade temporal do Monóxido de Carbono e Ozônio..... | 34 |
| 4.3 Estudos de caso..... | 36 |
| CAPÍTULO 5 | 46 |
| 5.1 Conclusões..... | 46 |
| REFERÊNCIAS | 47 |

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

O total de emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) tem aumentado ao longo das décadas entre 1970 e 2010, com maiores aumentos absolutos entre 2000 e 2010, apesar de um número crescente de políticas de mitigação de mudanças climáticas, onde a evidência da influência humana sobre o sistema climático tem se apresentado crescente desde o Quarto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). No qual foi destacado que mais da metade do aumento observado na temperatura média da superfície global entre 1951 e 2010 foi causado pelo aumento antropogênico em concentrações de GEE e outras forçantes antropogênicas conjuntamente (IPCC, 2014).

As queimadas tem participação nas emissões de GEE uma vez que liberam grandes quantidades de monóxido de carbono (CO) na atmosfera, o qual reage com outros produtos químicos para a produção de ozônio. Isso acontece através de reações fotoquímicas de óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos, produzindo ozônio (O₃) (Kirchhoff, 1996). Sendo o estudo da química da atmosfera de grande importância para um conhecimento mais amplo sobre os processos que regulam a composição da atmosfera, e o uso de técnicas de sensoriamento remoto apresentam um importante suporte para o estudo e observação da química e composição da atmosfera. Constituintes químicos estudados por medidas de satélite auxiliam para um melhor entendimento de como o meio natural e antrópico afetam o clima e a qualidade do ar. Um instrumento de medida por sensoriamento remoto que apresenta um importante suporte para este estudo é o sensor *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS). O AIRS é um dos seis instrumentos a bordo do satélite AQUA, o qual faz parte do Sistema de Observação da Terra da NASA e representa um dos mais avançados sistema de sondagem atmosférico já lançado ao espaço.

Os gases em estudo, apresentam ciclos sazonais que estão associados às mudanças sazonais meteorológicas, como por exemplo, às estações de seca e chuvosa. E a sua variabilidade interanual é atribuída à variabilidade interanual das condições meteorológicas, como os eventos ENOS e emissões por queima de biomassa. Uma vez que, o El Niño

Oscilação Sul (ENOS) é o modo dominante de variabilidade interanual no clima tropical, ele exerce uma grande influência sobre a variabilidade interanual da química na troposfera. Níveis sem precedentes de ozônio troposférico foram medidos, coincidente com incêndios sobre a Indonésia durante as condições de seca induzida, como por exemplo, o evento 1997/8 El Niño (Fujiwara et al., 1999). Eventos de El Niño tem elevado impacto sobre o ozônio troposférico e importância na dinâmica atmosférica devido a um aumento da queima de biomassa. Diante deste cenário, sabe-se que as grandes cidades emitem uma grande quantidade de gases de efeito estufa devido, principalmente, às atividades humanas. Portanto, o estudo na região metropolitana de Manaus com o uso do sensor AIRS é importante devido à atuação deste sistema sensor, como importante recurso por sondar uma maior cobertura espacial de dados, oferecendo informações de áreas remotas ou de difícil acesso, que não possuem quantidades consideráveis de estações meteorológicas convencionais, como especialmente a Região Metropolitana de Manaus (Costa, 2015).

Eventos de plumas de fumaça provocados pelas queimadas ocorridos em 2015 na cidade de Manaus ocasionaram transtornos à população devido à intensa quantidade de fumaça originada na capital conjuntamente com as queimadas dos municípios circunvizinhos, levando preocupação à população e aos órgãos competentes para efetivar ações com o intuito de evitar novos focos de incêndio. A seca severa na região durante o segundo semestre do ano de 2015 contribuiu para o maior número de incêndios. O fenômeno El Niño afetou a quantidade de chuvas na região o que contribuiu para a propagação de queimadas, deixando as plumas de fumaças decorrentes de queimadas estagnadas próximo à superfície, devido à estabilidade atmosférica. As secas na Amazônia associadas à ocorrência de eventos intensos de El Niño, cuja avaliação comparativa dessas condições climáticas, mostra-se importante no conhecimento da evolução dos episódios de secas na região, segundo informações do portal de Queimadas do CPTEC/INPE, disponível pelo seguinte link, http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/namidia/2015_namidia_INPE_Queimadas.

De acordo com Fishman et al., (1991), o ozônio é o principal indicador do *smog* fotoquímico, fenômeno cuja característica é a presença de uma densa camada de fumaça em suspensão altamente poluída e aprisionada na baixa atmosfera. É importante compreender os impactos dos atuais episódios de ENOS sobre a composição da troposfera, para avaliar as consequências de eventuais mudanças futuras, mudanças do ENOS, na composição troposférica, como foi exposto em trabalhos anteriores como de Doherty (2006). O melhor conhecimento da variabilidade desses gases traço é fundamental para adoção de políticas públicas que reduzam

queimadas e desmatamentos, sendo a maior fonte de emissão sobre o Brasil e, particularmente na Amazônia. Portanto, avaliar as taxas de concentrações de CO e O₃ é de grande relevância para entender o comportamento desses gases, principalmente, pelo fato da Amazônia desempenhar o papel de regulador climático regional e global [D'Amélio, (2006); Freitas et al., (2005)].

1.2 Objetivo

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a variabilidade temporal e comportamento médio do Monóxido de Carbono e Ozônio na Região Metropolitana de Manaus, com base em 12 anos de dados do sistema de sondagem AIRS/AQUA. Adicionalmente, esta pesquisa teve como objetivos específicos:

- Verificar a variabilidade temporal das concentrações de CO e O₃ e sua relação com queimadas na região de estudo.
- Analisar o comportamento da concentração média de ozônio sobre a cidade de Manaus, para os anos 2011 (chuvoso) e 2015 (seco).
- Analisar a influência do ENOS na concentração de ozônio sobre a RMM.

CAPÍTULO 2

2.1 Revisão Bibliográfica

O presente levantamento bibliográfico apresenta uma abordagem dos principais tópicos desse estudo, focos de queimadas na Amazônia, queimadas e seu efeito nas emissões de monóxido de carbono, dinâmica e formação do O₃ troposférico, Sistema de Sondagem AIRS, medições de CO e O₃ e sistemas interanuais (ENOS) e sua influência na Amazônia.

2.1.1 Focos de queimadas na Amazônia

Em função da não uniformidade na distribuição espacial das queimadas, o Brasil apresenta grandes contrastes entre regiões fonte e não fonte de queimada. Esses contrastes são decorrentes de fatores climáticos (período de grande estiagem) e regionais (predominância de atividades agropecuárias). No entanto, nestas regiões de pouca queima, medem-se, às vezes, concentrações elevadas de gases traço geradas por queimadas. Em outras palavras, a região de muita queima, ou regiões fonte, exportam gases gerados em queimadas para regiões não fonte (Aires, 2001).

É conhecido que as florestas tropicais causam grande impacto no tempo e clima global. Particularmente a Bacia Amazônica, com aproximadamente 4 milhões de quilômetros quadrados, atuando com importante função em emissões de vapor d'água, partículas de aerossóis e gases para a atmosfera (Artaxo, 1990). As queimas de biomassa para prática agrícola e pecuária são importantes fontes de poluentes em escala regional, principalmente, no período seco da região Amazônica. O fogo, na Amazônia brasileira como um todo, é responsável pela emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa por vários processos distintos, incluindo incêndios florestais, queima de capoeira, pastagens e diferentes tipos de savana. Essas atividades liberam altas concentrações de gases do efeito estufa e podem ser transportados para outros ambientes (Fearnside, 2002).

Estes gases na presença de alta taxa de radiação solar ajudam na formação de poluentes secundários, através de reações fotoquímicas, como ocorre com o ozônio (O_3). A queima de biomassa contribui para mais de 50% de NO_x e CO na camada limite sobre as principais regiões de origem, enquanto que contribui indiretamente até na metade das concentrações de O_3 sobre as principais regiões de queima na região tropical. Em comparação com NO_x e O_3 , queima de biomassa tem o maior impacto global sobre as contribuições de CO, contribuindo de 15 a 30% em todo o CO troposférico global. Como esperado, com base em estudos anteriores, os impactos mais significativos de emissões de queimadas ocorrem na baixa troposfera tropical. Perto da superfície, queima de biomassa contribui diretamente com mais de 15% do total das concentrações de O_3 nos trópicos ao longo dos anos, e de 10 a 20% em todo o Hemisfério Sul durante Setembro-Outubro-Novembro (Meredith et al., 2000).

A composição química da atmosfera amazônica sofre grandes mudanças na época da seca, devido às emissões de gases traço e partículas de aerossóis provenientes de queimadas de pastagens e floresta. A intensa atividade de desflorestamento e conseqüentemente as emissões de gases e partículas decorrentes das queimadas durante a estação seca têm implicações importantes em nível local, regional e global. De particular importância sobre as características químicas e radiativas são as emissões de precursores de O_3 , gás formado através de reações fotoquímicas a partir de emissões de queimadas. As emissões de gases precursores a formação de ozônio pelas queimadas faz com que as concentrações deste importante gás atinjam níveis que podem ser danosos à floresta não queimada, a milhares de quilômetros das áreas queimadas, pois o ozônio é fitotóxico, danificando os estômatos das folhas (Artaxo et al., 2013).

O monitoramento das queimas e incêndios por satélite, a dimensão ampla de dados e a literatura científica decorrentes ratificaram as atividades de queimadas como negativas ao meio ambiente. Porém, a realidade mostra o seu aumento ao longo dos anos, em particular na Amazônia, provando que mesmo com todas as evidências contra queimadas, com legislação adequada para coibi-las, e com monitoramento por satélite bastante eficiente, o controle esperado não está ocorrendo (Setzer, 2005).

2.1.2 Queimadas e as emissões de Monóxido de Carbono

Uma queimada é um processo de queima de biomassa, que pode ocorrer por razões naturais ou por iniciativa humana. A queima de matéria orgânica produz primariamente água e dióxido de carbono, de acordo com a seguinte reação química (equação 1):



Onde o elemento [CH₂O] representa a composição média da biomassa.

Os estágios de evolução de uma queimada, apresentados por Mollmann (2015), são descritos em quatro fases: ignição, chamas, brasas e extinção. A ignição é dependente do tipo de biomassa, da umidade e de fatores ambientais, como temperatura, umidade relativa e o vento. O estágio de chamas é onde as altas temperaturas provocam uma ruptura das moléculas constituintes da biomassa, onde componentes com alto peso molecular são decompostos em compostos com peso molecular mais baixo tais como o carvão e o alcatrão, os quais constituem fonte primária de energia para as chamas e, finalmente, em compostos de natureza gasosa. É nessa fase onde se inicia a liberação de compostos como o CO e o CO₂. Com a diminuição das condições necessárias para se manter as chamas, a queima entra em um estágio mais frio, chamado de fase de brasas, com isso reduz drasticamente a produção de CO₂ e há um aumento na emissão de compostos oxidados, como o CO. O Monóxido de Carbono é um poluente produzido pela combustão incompleta na queima de biomassa e de combustíveis fósseis, sendo um gás tóxico incolor e inodoro. Quando a fonte emissora é a queima de biomassa, o CO é produzido principalmente no início da combustão com ausência de chamas, com escassez de oxigênio e com pouca ou nenhuma chama (equação 2). Na ocorrência de combustão completa com chamas e presença de oxigênio em excesso, este oxigênio ao se combinar com hidrocarbonetos (Ex.: CH₄), resulta em dióxido de carbono (CO₂) e vapor d'água (H₂O) (equação 3). Podendo o CO₂ reagir com uma molécula de carbono (C) e formar o monóxido de carbono (equação 4).



As maiores fontes de CO é a queima de biomassa (Andreae et al., 2012). Sendo que em uma floresta, existem diferentes estágios e fatores que influenciam a queima, como as condições meteorológicas (vento, umidade do ar, etc.), e o tipo de bioma queimado, entre outros, que geram combustão incompleta, sendo o CO um dos principais subprodutos gerado (Leeuwen e Werf, 2011), fazendo do CO um excelente traçador de queimadas (Yurganov et al., 2008). De acordo com Logan et al, (1981), o monóxido de carbono é um traçador de longa duração da atividade humana com fontes relativamente bem conhecidas de combustão, indústria e oxidação de hidrocarbonetos. E alguns dos seus principais sumidouros são devido a oxidação troposférica pelo radical hidroxila (OH) e por absorção pelo solo.

2.1.3 Dinâmica de formação do Ozônio troposférico

O ozônio (O₃) é alótropo do oxigênio (O₂) e altamente reativo. Ele é produzido na troposfera pela oxidação fotoquímica de CO e hidrocarbonetos na presença de NO_x, cujo processo está ilustrado na figura (1). Nas zonas tropicais, o transporte de O₃ da estratosfera para a troposfera é relativamente pequeno em comparação com a taxa de produção fotoquímica *in situ* a partir de precursores de emissão tais como os da queima de biomassa (Logan, 1981). Além disso, a maior parte da oxidação global dos gases residuais de longa duração, radiativa e quimicamente importantes pode ocorrer na atmosfera tropical (Crutzen, 1995). Alterações nas concentrações de O₃, NO_x, CO, CH₄ e NMHC podem causar mudanças significativas no poder oxidante da atmosfera global e, possivelmente, alterar as concentrações dos gases residuais de longa vida também.

O ozônio troposférico é também conhecido como um precursor do radical hidroxila que controla o poder oxidante da atmosfera. Por outro lado, o ozônio é também um dos principais poluentes que estando em concentração elevada é prejudicial para a saúde humana e das plantas.

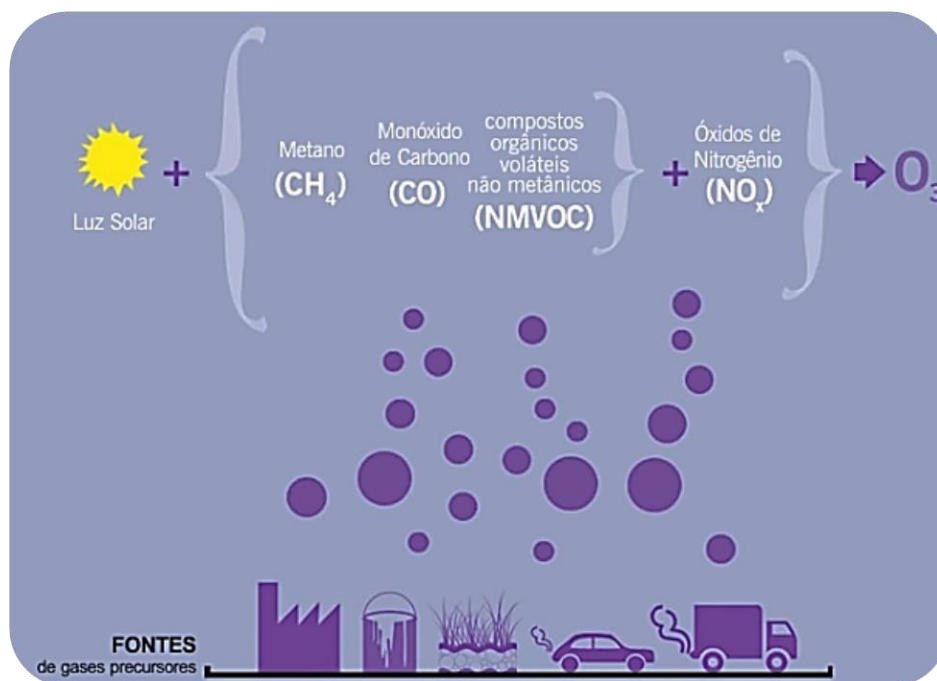


Figura 1 - Processo de formação do ozônio troposférico. **Fonte:** Instituto de energia e meio ambiente- IEMA, São Paulo.

A quantificação das fontes de emissões antropogênicas de O_3 e sua influência a nível global têm sido apresentadas atualmente como um tema de pesquisa de grande relevância na química da troposfera. Apresenta um período de formação e extinção, cuja dinâmica é catalisada pelos agentes precursores do gás. Esses precursores podem ser de origem biogênica ou antropogênica. Outra fonte de formação de ozônio são os radicais hidroxila (OH) e hidrocarbonetos, pois estes são capazes de desequilibrar o meio atmosférico, contribuindo assim para o aumento da formação de ozônio devido, principalmente a alta instabilidade desses agentes (Dutra, 2009).

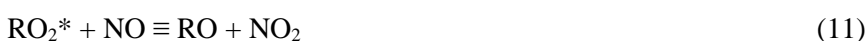
Em altas altitudes, os átomos de oxigênio são produzidos pela fotodissociação do oxigênio molecular por absorção da radiação do ultravioleta (equação 5), produzindo ozônio pela reação entre o oxigênio atômico e o molecular, onde M é um terceiro elemento catalisador (N_2 ou O_2), que remove a energia da reação e estabiliza o O_3 (equação 6).



Nas altitudes mais baixas, onde há apenas radiação com comprimentos de onda maiores que 280 nm, a única fonte de oxigênio atômico é a fotodissociação do dióxido de nitrogênio, onde o fóton ($h\nu$) tem comprimento de onda entre 280 e 430 nm, (equação 7). Resultando em óxido nítrico (NO) e um átomo de oxigênio em estado excitado que ao se combinar com uma molécula de oxigênio (O_2) produz o O_3 (equação 8). Na ausência de outras espécies oxidantes, o NO pode ser oxidado pelo O_3 e formar o NO_2 (equação 9), concluindo um ciclo em equilíbrio, cuja concentração de ozônio deve se manter.



Na presença de hidrocarbonetos e compostos orgânicos voláteis (COV's), ocorrem reações que resultam em radicais livres que oxidam o NO sem consumir o ozônio (equação 10 e 11), quebrando o ciclo anteriormente citado e contribuindo para o aumento da concentração de O_3 , (equação 12 e 13). Os radicais péroxí (RO_2^*) são radicais livres produzidos pela oxidação de hidrocarbonetos. No balanço geral, resultando na (equação 14).



HO_2 = Hidroperóxido RO_2 = Alcóxi OH = Radical Hidroxila

Os radicais também reagem convertendo NO para NO₂, ao mesmo tempo consumindo O₃, quando há baixa concentração de NO (equação 15 e 16). Resultando numa competição entre duas reações para o balanço líquido do ozônio (equação 17).



Sendo o CO um grande sumidouro de radicais hidroxilas, o que explica a sua contribuição para o processo de formação de ozônio troposférico, que ocorre quando o monóxido de carbono é oxidado a CO₂ pelos radicais hidroxila, gerando radicais hidroperóxidos (HO₂) equação (18) que atuam similarmente aos radicais formados pelos COVs, oxidando o NO a NO₂ sem destruir as moléculas de O₃ (equação 19) fazendo com que a concentração deste gás seja crescente na atmosfera (Seinfeld e Pandis, 1998).



2.1.4 Sistema de Sondagem AIRS, medições de CO e O₃

O monóxido de carbono é um gás traço na atmosfera, e não tem um efeito direto sobre a temperatura global, como o metano e o dióxido de carbono. No entanto, o monóxido de carbono desempenha um papel importante na química atmosférica, e afeta a capacidade da atmosfera de se purificar de muitos outros gases poluentes. É identificado como um precursor

do O₃, que combinado com outros poluentes e radiação solar, participa da formação de ozônio troposférico e *smog* urbano (NASA, 2000).

Medição por satélite de constituintes químicos atmosféricos tem melhorado nossa compreensão de como as atividades naturais e humanas afetam o clima e qualidade do ar. O sensor AIRS do *Earth Observing System* (EOS) da NASA faz medições globais de CO, gerando produtos que têm sido utilizados com sucesso em muitos estudos (Warner, 2010).

Nos últimos anos, esforços têm se concentrado no desenvolvimento de sistemas de sondagem com alta resolução espectral. O sensor AIRS possui 2378 canais, foi lançado em maio de 2002 a bordo do satélite AQUA, é o primeiro sondador avançado de radiação infravermelha operacional com essa característica. A informação espectral incluída nos canais refere-se não apenas a perfis de temperatura e de umidade, mas também de outros gases minoritários presentes na atmosfera (Susskind, 2003).

O perfil de ozônio é produzido a partir da recuperação dos dados do sensor AIRS como uma parte necessária da recuperação de temperatura e vapor de água. Os cientistas têm recuperado com êxito outros gases residuais inclusive, monóxido de carbono, metano e dióxido de carbono do AIRS por causa da ampla cobertura diária global e a escassez de conjuntos de dados disponíveis.

O AIRS tem detalhado mais as observações diárias globais do transporte do CO na média troposfera por emissões de queima de biomassa. O monóxido de carbono possui melhor sensibilidade na média e baixa troposfera. O satélite AQUA realiza medições de gases traços na atmosfera, e as medições das concentrações de monóxido de carbono na atmosfera através do instrumento AIRS é baseado na radiação a comprimentos de onda específicos associados a absorção por concentrações de monóxido de carbono. O AIRS é sensível ao CO na troposfera média a alturas entre 2 e 10 quilômetros, com um pico de sensibilidade em uma altitude de aproximadamente 5 quilômetros. Essa região da atmosfera da Terra também é propícia para o transporte de longa distância da poluição que é levada para esta altitude, como descrito por Mollmann, (2015).

2.1.5 Sistemas interanuais e sua influência na Amazônia

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e seus efeitos sobre a atmosfera e oceano têm sido amplamente estudados e documentados. A componente oceânica do ENOS está associada ao aquecimento/resfriamento da TSM, enquanto que a componente atmosférica está associada às variações na Pressão ao nível médio do Mar (PNM). A terminologia, das fases do ENOS, consiste em El Niño, quando a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é mais elevada em relação à TSM climatológica no Pacífico tropical oriental - ou seja, a fase quente; e La Niña, quando a TSM mais baixa do que a TSM climatológica na porção tropical do Pacífico Oriental, fase fria. Eventos ENOS tem frequência de ocorrência de 2 a 7 anos e produzem mudanças em escala planetária na TSM tropical, convecção e ventos (Ziemke, 2015).

A conexão entre oceano e atmosfera da Terra, associada ao ENOS, tem um impacto direto sobre o tempo e o clima. Variações na TSM afetam os padrões climáticos em todo o mundo, influenciando sistemas de alta e baixa pressão, ventos e precipitação. ENOS pode trazer umidade necessária para uma região, causando extremos de precipitação, ao mesmo tempo em que forte supressão de precipitação ocorre em outras regiões (NOAA, Research).

Ziemke e Chandra, (2003), fornecem a primeira evidência, a partir de medidas de satélite que os eventos de La Niña e El Niño estão associados à variabilidade interanual e à distribuição de Ozônio troposférico na região tropical. Uma investigação de como o ENOS influencia no ozônio troposférico e seus precursores também foi realizada por Doherty et al (2006), utilizando modelo climático-químico. Seus resultados mostram que o ozônio da coluna troposférica diminui no Pacífico Central e Oriental e aumenta no Pacífico Ocidental / Indonésia em resposta às mudanças na circulação convectivas durante as condições de El Niño.

Na região central da Amazônica, incluindo a RMM, episódios de ENOS provocam diminuição de precipitação durante a estação chuvosa (Andreoli et al, 2012). O desvio da precipitação neste período (valor climatológico menos o valor observado) deve-se ao ramo descendente da célula de Walker que se desloca sobre a Amazônia, atenuando atividades convectivas. Diante dessa correlação ENOS-Período Seco, sugere-se que o índice de oscilação sul possa ser um preditor da variabilidade de precipitação para a região. Uma série de outros estudos também demonstraram os efeitos do evento ENOS sobre a Amazônia, mostrando que em anos de El-Niño muito intenso a precipitação do verão é mais baixa que nos anos normais sobre o norte da Amazônia (Marengo et al.,1993). Durante anos de grande aquecimento das

águas do Pacífico equatorial central (fenômeno do El-Niño), a ZCIT situa-se anormalmente mais ao norte do que sua posição normal sobre o Atlântico tropical. Por conseguinte, os ventos alísios de NE são mais fracos, reduzindo a umidade que penetra no interior da região Amazônica. Sobre o lado oeste do Andes, a convecção que produz chuvas abundantes ao norte do Peru, provoca, por sua vez, movimentos de ar de subsidência compensatória no lado leste, contribuindo para uma menor quantidade de chuva na parte leste da Amazônia.

A vegetação amazônica é altamente sensível às mudanças nos padrões de precipitação, assim como às reduções de chuvas em virtude de eventos El Niño, (Hilker et al, 2014). Eventos El Niño favorecem estações secas mais intensas e uma temporada de incêndios mais prolongada na Amazônia, de acordo com a previsão de incêndio sazonal de 2016 de cientistas da NASA. As condições de El Niño em 2015 e meados de 2016 alteraram os padrões de chuvas em todo o mundo. Na Amazônia, El Niño reduziu as chuvas durante a estação chuvosa, deixando a região mais seca no início da estação seca de 2016, sendo este ano, o mais seco desde o ano de 2002.

O risco de incêndio para os meses da seca de julho a outubro de 2016 excedeu o risco de incêndio em 2005 e 2010, anos estes nos quais incêndios atingiram grandes áreas da floresta amazônica, segundo cientistas da *Goddard Space Flight Center* da NASA. Para o ano de 2016, as condições severas de seca no início da estação seca foram usadas para preparar o cenário para risco de incêndio extremo. Ainda, uma vez que o modelo de previsão é focado particularmente na ligação entre as temperaturas da superfície do mar e a atividade de incêndio, notou-se que as temperaturas mais quentes da superfície do mar no Pacífico tropical (El Niño) e nos oceanos do Atlântico favoreceram condições de secas mais severas do que 2005 e 2010, aumentando o risco de incêndios durante os meses da estação seca, em virtude do El Niño. Ainda, quando as árvores têm menos umidade no início da estação seca, tornam-se mais vulneráveis ao fogo e evaporam menos água na atmosfera, colocando milhões de árvores sob estresse e redução de umidade em toda a região, permitindo que os incêndios cresçam mais do que normalmente, segundo apontado por Lynch (2016, <<<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/el-ni-o-could-drive-intense-season-for-amazon-fires>>>).

CAPÍTULO 3

3.1 Dados e Metodologia

Nesta seção serão descritos os dados e os métodos utilizados neste estudo conforme as metas estabelecidas. Estas metas são subdivididas em três etapas: Descrição da área de estudo, Dados utilizados e Metodologia.

3.2 Descrição da área de estudo

Segundo a divulgação realizada pela Secretaria de Estado de Planejamento, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação (SEPLAN-CT), onde foi apresentado o Perfil Básico da Região Metropolitana de Manaus (RMM) referente ao ano de 2014 (SEPLAN-CTI, 2014), a RMM contava em 2015 com 2.403.986 habitantes (conforme estimativa populacional do IBGE de 01 de julho de 2015, publicada no D.O.U (Diário Oficial da União em agosto de 2015). A RMM, segundo a Lei Complementar nº 52/2007 modificada no dia 27 de janeiro de 2008 pela Lei Complementar nº 59, a RMM engloba Manaus e mais 7 municípios do Estado do Amazonas: Manaus, Careiro da Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Manacapuru, Novo Airão, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva e possui uma área de 101.475 km² (Figura 2). O clima nessa região é tropical úmido com elevadas temperaturas, altas taxas de umidade e pouca amplitude térmica. A precipitação anual média é de 2300 mm, com estações chuvosa e seca bem definidas, sendo caracterizada a estação chuvosa entre os meses de novembro a março e estação menos chuvosa de julho a setembro (Fish et al. 1998).

O município de Careiro da Várzea localiza-se a 15 km da capital Manaus, o município de Iranduba localiza-se às margens da região do Rio Negro/Solimões. Itacoatiara e Presidente Figueiredo localizam-se na Região do Médio Amazonas. Manacapuru, Novo Airão e Rio Preto da Eva situam-se na Região do Rio Negro/Solimões e Manaus à margem esquerda do Rio Negro. Outras características dos municípios da RMM foram organizadas na Tabela 1, apresentando altitude, área e coordenadas geográficas.

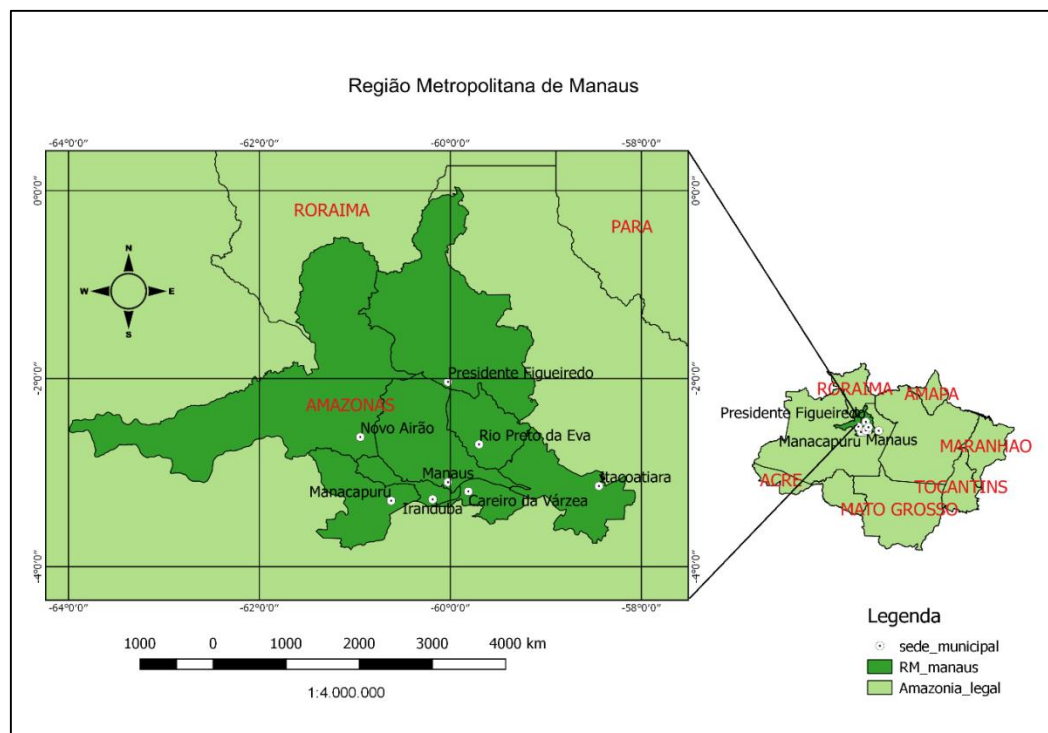


Figura 2 - Região Metropolitana de Manaus.

Tabela 1- Dados dos municípios da região metropolitana de Manaus. Fonte: SEPLAN-CTI, 2014.

| Municípios | Altitude (m) | | Coordenadas Geográficas |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
| | Acima do nível do mar | Área (km ²) | |
| Manaus | 21 | 11.401,092 | 03°06'00" S 60°01'00" O |
| Careiro da Várzea | 15 | 2.631,144 | 03°13'15" S 59°49'33" O |
| Iranduba | 32 | 2.214,251 | 03°17'06" S 60°11'09" O |
| Itacoatiara | 18 | 8.892,038 | 03°08'34" S 58°26'38" O |
| Manacapuru | 34 | 7.330,074 | 03°17'59" S 60°37'14" O |
| Novo Airão | 40 | 37.796,238 | 02°37'15" S 60°56'38" O |
| Presidente Figueiredo | 40 | 25.421,254 | 02°03'04" S 60°01'30" O |
| Rio Preto da Eva | 21 | 5.813,224 | 02°41'56" S 59°42'00" O |

3.3 Dados utilizados

Foram utilizadas as estimativas das concentrações de CO e O₃, com médias de 8 dias, obtidas a partir do sensor AIRS a bordo do sistema de sondagem do satélite *AQUA* (versão 6), através do portal da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), e encontram-se no formato HDF (*Hierarchical Data Format*), com resolução espacial de 1x 1 grau (AIRS, 2013). O período de estudo abrange os anos de 2003 a 2015, e a área de estudo está inserida dentro das seguintes coordenadas: 0,75°N-4,75°S, 57,75°W - 64,25°W.

Para os estudos de caso, foram utilizados dados históricos da concentração de ozônio estimados pelo satélite *AQUA/NASA*, na resolução espacial de 1 x 1 grau, correspondendo ao período de doze anos de dados (2003 - 2015), sobre a cidade de Manaus. Além disso, foram utilizados dados de precipitação e temperatura mensais para os anos de 2011 e 2015 e também a normal climatológica (1961 - 1990) das mesmas variáveis, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Em seguida, para o próximo estudo de caso apresentado, foram utilizados os dados obtidos através das inferências do sensor AIRS/*AQUA*, extraídos a partir da versão 6, referente primeiramente ao produto AIRX2SUP, o qual inclui perfis verticais estratificados em 100 níveis de pressão atmosférica entre 1100 e 0,016 mb, com resolução horizontal de 50 km e resolução temporal de duas vezes por dia (dia e noite), e está disposto em grânulos ascendentes e descendentes enumerados de 1-240 para todo o globo (AIRS, 2013). Tais dados foram extraídos no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) do portal da NASA, disponível em: <<http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/homepageAlt.pl?keyword=AIRX2SUP>>.

A Tabela 2, sumariza a características referentes às resoluções espaciais e temporais dos dados de satélite.

Tabela 2 - Resumo dos produtos AIRS utilizados no trabalho.

| Produtos AIRS/AQUA | | | | |
|--------------------|--------|---------|--------------------|--------------------|
| Nome | Versão | Formato | Resolução Espacial | Resolução Temporal |
| AIRX3ST8 | 006 | HDF-EOS | 1 x 1 grau | A cada 8 dias |
| AIRX2SUP | 006 | HDF-EOS | 50 x 50 km | Duas vezes ao dia |

O formato *Hierarchical Data Format* (HDF) possui essa extensão que facilita a criação de estruturas do tipo de faixa, ponto e grade. Os arquivos de dados nível L2, por exemplo, são de estrutura do tipo de faixa (grânulos) e o nível L3 do tipo de estrutura de grade. Os arquivos do produto AIRS foram nomeados de acordo com a seguinte convenção:

➤ AIRS.yyyy.mm.dd.ggg.Lev.productType.vm.m.r.b.GproductionTimeStamp.hdf

Onde:

- yyyy = 4 dígitos do ano.
- mm = 2 dígitos do mês.
- dd = 2 dígitos do dia.
- ggg = número de grânulos (aplicado apenas para os dados L1 e L2).
- Lev = nível de processamento (Ex.: L1, L2 ou L3).
- ProductType = Tipo de produto (Ex.: AIRX3ST8).
- vm.m.r.b = versão do Algoritmo identificador, composta da versão principal, versão menor, versão de lançamento e número de compilação, respectivamente.
- ProductionTimeStamp = Hora de criação de arquivo. Começa com uma letra G para a facilidade de processamento de GES DISC, seguida de yydddhhmmss.
 - yyyy = número do ano sem século.
 - ddd = dia do ano (1-366).
 - hhmmss = horas, minutos e segundos (Hora UTC).

Exemplo de um nome de arquivo padrão do Nível 2 (L2):

➤ AIRS.2012.01.01.001.L2.RetStd.v6.0.7.0.G12328075503.hdf

Os dados de focos de queimadas extraídos para a região e período de estudo deste trabalho, foram obtidos através do portal do CPTEC/INPE no seguinte link <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>. Sendo utilizados todos os satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. Atualmente, são processadas operacionalmente, na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA as imagens AVHRR/3 dos satélites polares NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 e METOP-B, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA, as VIIRS do NPP-Suomi, e as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-13 e MSG-3. Cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, e os geoestacionários geram várias imagens por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 200 imagens por dia

especificamente para detectar focos de queima da vegetação, <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/informacoes/perguntas-frequentes>>.

Os dados utilizados no trabalho estão organizados na figura 3. Sendo os estudos de caso, trabalhos em que os resultados foram apresentados para o XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia e XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, respectivamente.

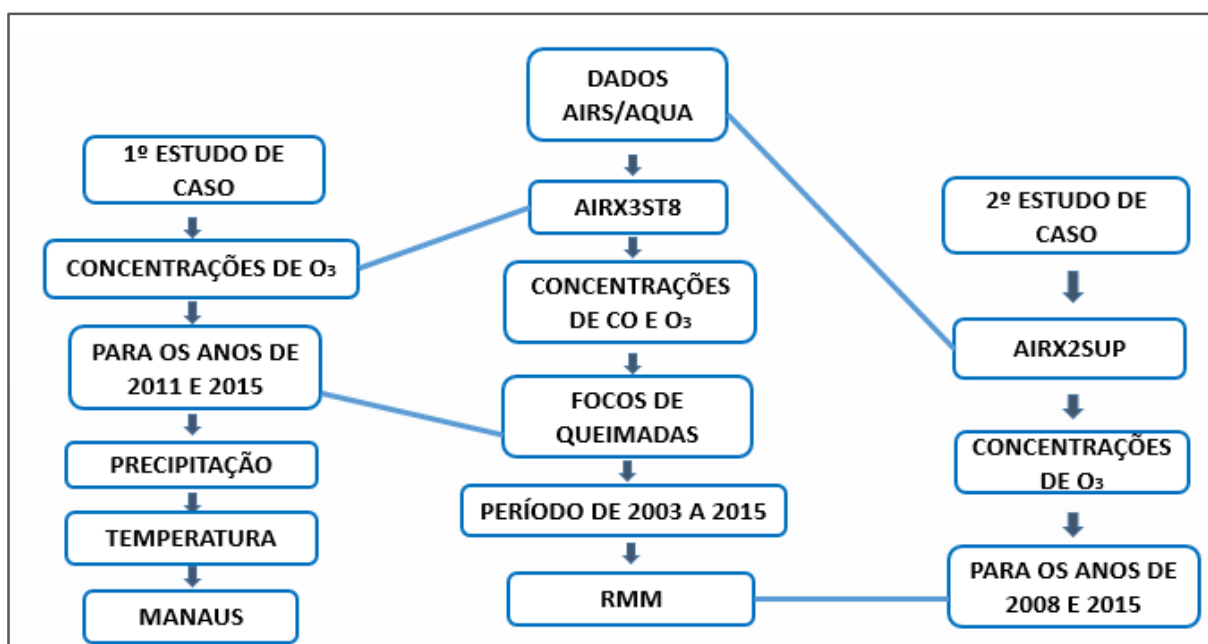


Figura 3 - Fluxograma representativo dos dados utilizados no trabalho.

3.4 Metodologia

A primeira parte deste trabalho consistiu na leitura dos arquivos hdf, com a finalidade de extrair as séries temporais das concentrações de CO e O₃. Em seguida foi realizada uma análise da distribuição temporal para a série de dados, apresentando uma discussão sobre o comportamento médio sazonal e interanual dos gases. Os padrões sazonais dos gases em estudo foram analisados com a finalidade de identificar os padrões médios característicos, as etapas dessa primeira parte da metodologia estão representadas em fluxograma na figura 4.

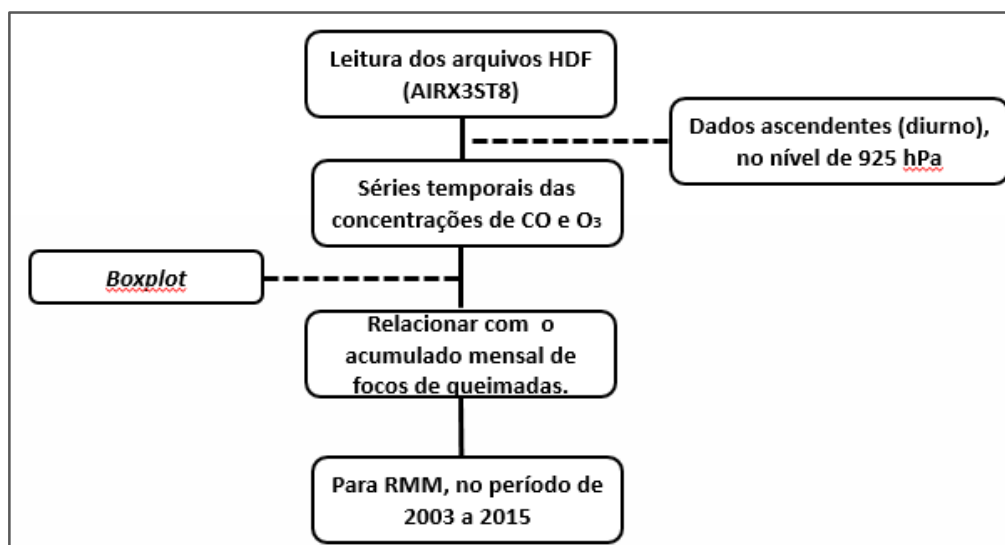


Figura 4 - Fluxograma das etapas da metodologia da primeira parte do trabalho.

Para o primeiro estudo de caso, foram realizadas leituras e seleções dos dados remotos, extraindo-se matrizes no nível de 925 hPa, por ser esse nível próximo à superfície e ter impacto direto ao ecossistema local e à saúde humana. A partir dessa seleção, foram organizadas as estimativas da concentração de O₃ mensalmente, estruturando desta forma em diagramas de caixa (*boxplot*). A análise dos diagramas de caixa, ilustrada na Figura 5, nos fornece as seguintes características para um conjunto de dados:

- **Distribuição** - A mediana (Q₂) indica o centro da distribuição. O retângulo contém 50% dos valores do conjunto de dados.
- **Dispersão** - Representada pela altura do retângulo (Q₃ – Q₁), no qual Q₃ é o terceiro quartil e Q₁ é o primeiro quartil
- **Assimetria** - A posição da linha mediana no retângulo informa sobre a assimetria da distribuição. Uma distribuição simétrica teria a mediana no centro do retângulo. Se a mediana é próxima de Q₁, então, os dados são positivamente assimétricos. Se a mediana é próxima de Q₃, os dados são negativamente assimétricos.
- **Comprimento da cauda** - O comprimento das linhas fora do retângulo informa sobre a cauda da distribuição, indicando em suas extremidades os valores mínimos e máximos.
- **Outliers (valores discrepantes)** – são apresentados como valores atípicos que apresentam um grande afastamento em relação aos valores da série.

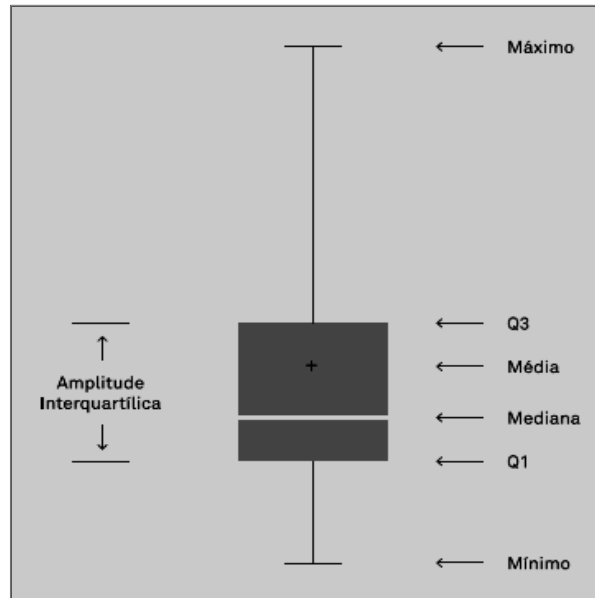


Figura 5 - Informações apresentadas em um gráfico Boxplot. **Fonte:** Marcelo Petenate, Site da Escola EDTI, disponível em: <http://mkt.escolaedti.com.br/ebook-como-fazer-analise-de-dados>.

Posteriormente, calcularam-se médias mensais a fim de se identificar meses sensíveis à atuação de fenômenos climáticos interanuais como o El Niño Oscilação Sul, e foram comparados dois anos (2011 e 2015), cujos registros climáticos identificaram como sendo anos de La Niña e El Niño, respectivamente, e por estarem dentro o período estudado (2003-2015). Adicionalmente, também foram organizados os dados meteorológicos de precipitação e temperatura na escala de tempo mensal para os dois anos anômalos em estudo, assim como os dados de focos de queimadas. A metodologia do primeiro estudo de caso, foi organizada em fluxograma, como mostra a figura 6.

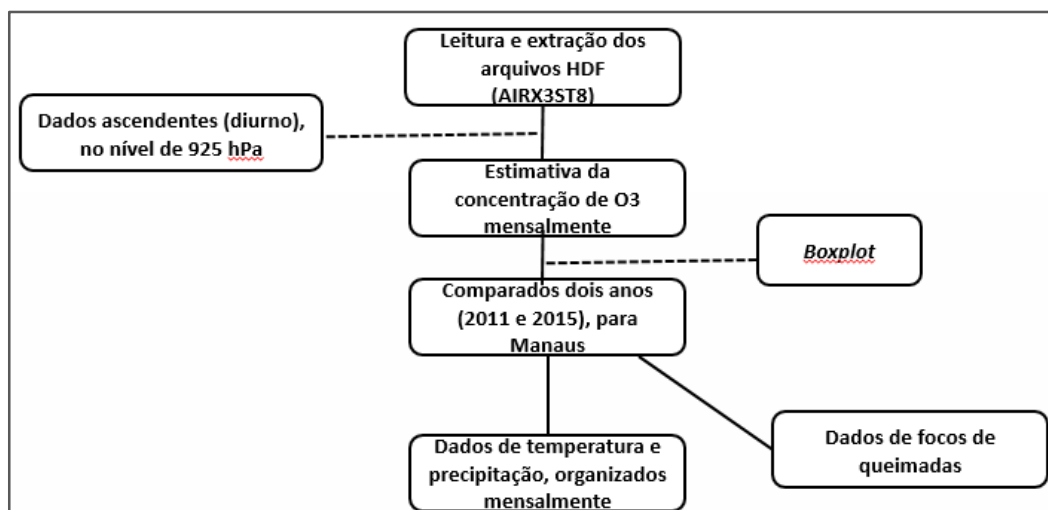


Figura 6 - Fluxograma das etapas da metodologia do primeiro estudo de caso.

Para o segundo estudo de caso, inicialmente, foi feita a seleção de dois anos atípicos, ou seja, um ano chuvoso e um ano seco, com base no Índice do Niño Oceânico. O índice é calculado considerando a média de 3 meses das anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região de Niño 3.4 (5° N - 5° S, 120° W - 170° W), e os eventos de El Niño /La Niña são caracterizados quando o índice apresenta calores superiores/inferiores à +/- 0,5°C por seis meses consecutivos, incluindo os meses de outubro a março, conforme descrito na plataforma de monitoramento do *Center for Weather and Climate Prediction* (NOAA). Conforme apresentado na tabela 3, para o período de estudo selecionado de 2003 a 2015, destacam-se os anos de 2008 e 2011 cuja persistência de anomalia negativa sobre a TSM perdurou por seis e nove meses, respectivamente. E 2015, que apresentou anomalias de TSM positivas durante doze meses consecutivos.

Tabela 3 - Índice do Niño Oceânico (ONI). Períodos de aquecimento da temperatura da superfície do mar em vermelho e resfriamento em azul. **Fonte:** Adaptado de NOAA (2016), em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.sh

| Ano | DJF | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2003 | 0.9 | 0.7 | 0.4 | 0 | -0.2 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| 2004 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.7 |
| 2005 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0 | -0.1 | 0 | -0.2 | -0.5 | -0.7 |
| 2006 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| 2007 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.9 | -1.1 | -1.3 | -1.3 |
| 2008 | -1.4 | -1.3 | -1.1 | -0.9 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.7 |
| 2009 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 1.1 | 1.3 |
| 2010 | 1.3 | 1.2 | 0.9 | 0.5 | 0.0 | -0.4 | -0.9 | -1.2 | -1.4 | -1.5 | -1.4 | -1.4 |
| 2011 | -1.3 | -1.0 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.3 | -0.6 | -0.8 | -0.9 | -1.0 | -0.9 |
| 2012 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | -0.2 |
| 2013 | -0.4 | -0.4 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.2 | -0.3 | -0.3 | -0.3 |
| 2014 | -0.5 | -0.5 | -0.4 | -0.2 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| 2015 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.7 | 2.0 | 2.2 | 2.3 |

Posteriormente, foram executadas as leituras dos dados remotos diários (O3VMRLevSup), extraído-se grânulos entre 160-185 para as passagens ascendentes do satélite e excluindo-se dados inválidos. Ainda no nível de processamento, os dados foram convertidos para unidades científicas de referência do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, (Brasil, 1990) e Organização Mundial da Saúde, OMS (WHO, 1987) em partículas por bilhão (ppb), cujos limiares estão ilustrados na tabela 4.

Tabela 4 - Limiares do padrão de qualidade do ar da CONAMA e OMS para o O₃ troposférico. **Fonte:** WHO e CONAMA.

| | CONAMA | OMS |
|---------------------------|-------------|--------------|
| μg/m³ | 160 | 100 |
| ppb | 81,5 | 50,94 |
| tempo de exposição | 1h | 1h |

Foram calculadas médias verticais e desvios-padrão para o trimestre chuvoso (janeiro, fevereiro e março) e trimestre seco (agosto setembro e outubro) sobre a área de estudo. Os focos de queima foram representados de forma cumulativa para o período em estudo, representados na forma de histograma. Foi realizada também, uma análise de dias particularmente chuvosos ou secos selecionados do período estudado, como apresentado no fluxograma da figura 7.

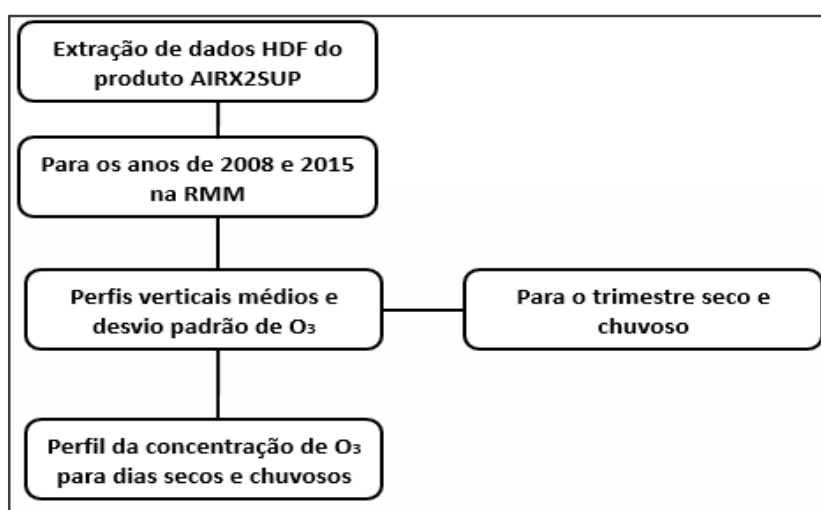


Figura 7 - Fluxograma das etapas da metodologia do segundo estudo de caso.

CAPÍTULO 4

4.1 Resultados e Discussão

Neste capítulo, serão apresentados os resultados das análises da concentração de monóxido de carbono e ozônio para a RMM. Primeiramente, apresenta-se a análise da variabilidade temporal do monóxido de carbono e ozônio na seção (4.2). Em seguida, apresenta-se como estudo de caso, o comportamento da concentração de ozônio para o município de Manaus, seção (4.3.1). E como segundo estudo de caso, será exposta uma análise da influência do ENOS na variabilidade da concentração de ozônio na RMM na seção (4.3.2).

4.2 Análises da variabilidade temporal do Monóxido de Carbono e Ozônio

A figura 8, mostra a climatologia mensal da concentração média mensal de CO e O₃ no nível de 925 hPa, para o período de 2003-2015. Para ambos os gases, o comportamento temporal é similar, com menores concentrações no primeiro semestre do ano e com um aumento gradual a partir junho, com picos em setembro e outubro. Esses resultados são similares aos mostrados por (Dutra et al., 2013), em seu estudo sobre a variabilidade da concentração de O₃ troposférico e sua relação com a variabilidade da concentração de CO para áreas de floresta e de pastagem na Amazônia, o qual mostrou que um aumento nas concentrações de CO implica em aumento de O₃.

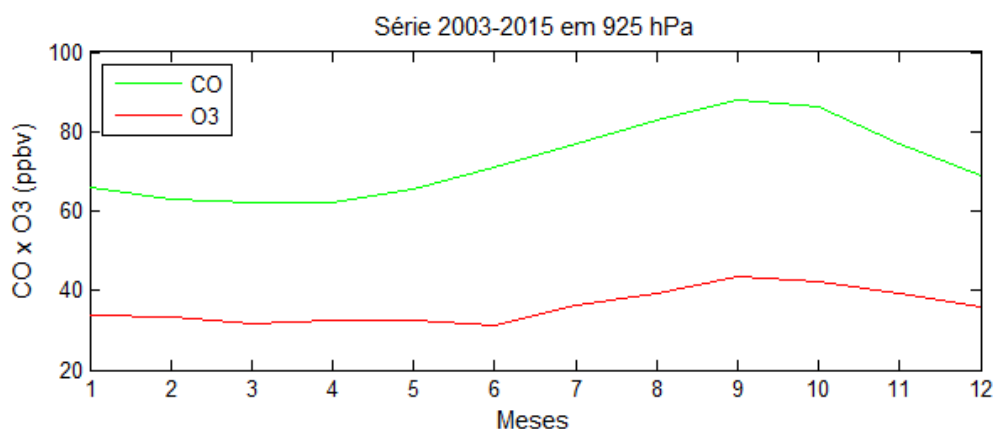


Figura 8 – Ciclo anual da concentração média de CO e O₃ no nível de 925 hPa para o período de 2003-2015.

Na figura 9, são apresentadas o diagrama de caixa mensais para o CO e O₃, onde nota-se que as concentrações de monóxido de carbono (a) e ozônio (b) na região de estudo evidenciam um padrão sazonal bem definido. Após o final da estação chuvosa, as concentrações de O₃ e CO começam a aumentar, chegando em torno de 45 ppb e 100 ppb para os respectivos gases, revelado pelas concentrações mediana e máxima no período seco. As máximas concentrações de O₃ e CO ocorreram em setembro e outubro, concomitante aos meses em que ocorreram maiores focos de queima na região, como apresentado na figura 10, consoante com o que foi apresentado por (Kuhn et al., 2010; Artaxo et al., 2013 apud Gerken et al., 2015).

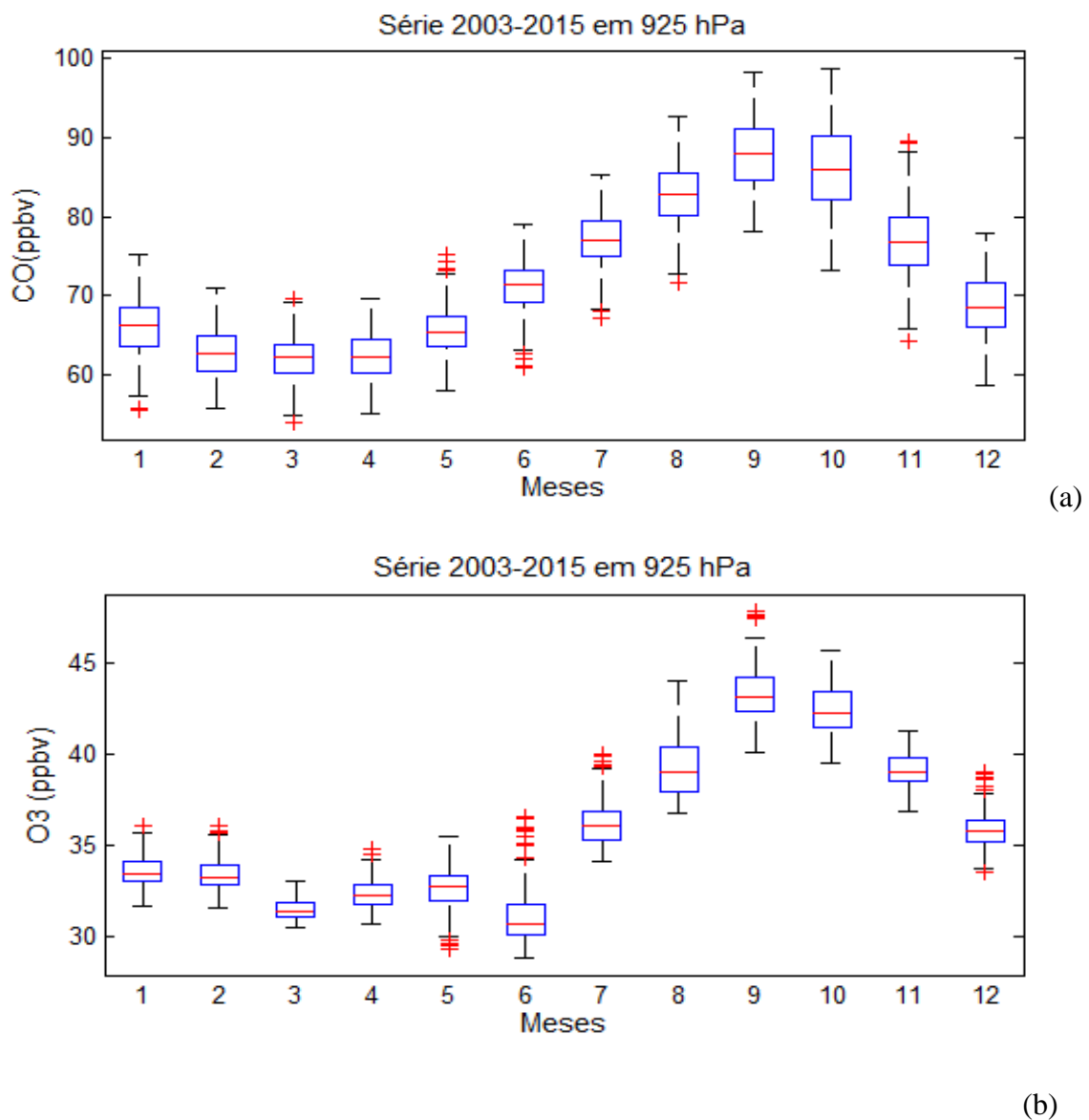


Figura 9 - Diagrama de caixas da concentração média do monóxido de carbono (a) e ozônio (b) para o período de 2003-2015, em 925 hPa.

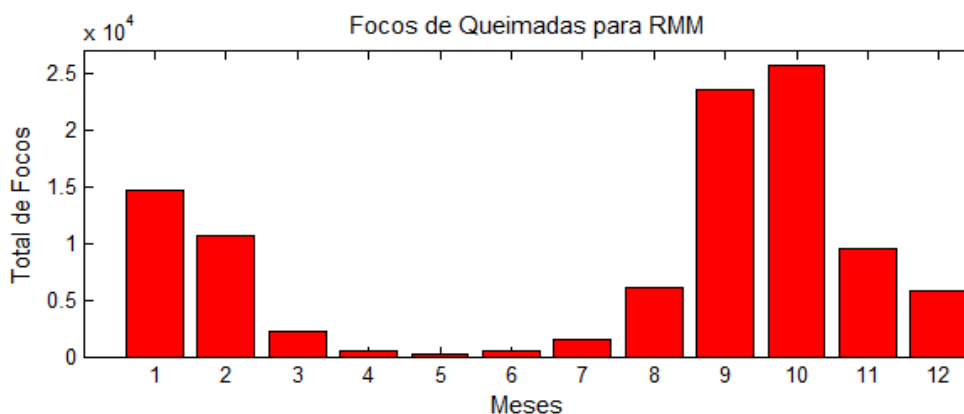


Figura 10 - Acumulado mensal de focos de queimadas na região metropolitana de Manaus para o período de 2003-2016. **Fonte:** (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>).

4.3 Estudos de caso

4.3.1 Caso 1 – Concentração de ozônio sobre a cidade de Manaus a partir de dados remotos.¹

O primeiro estudo de caso selecionado analisa o comportamento da concentração média de O₃ troposférico, sobre a cidade de Manaus, em anos contrastantes de episódios de ENOS. Como apresentado anteriormente na figura 9b, verificou-se que a série histórica da concentração de O₃ mensal apresentou valores entre 28-48 ppb com variabilidade sazonal bem definida. Também, foram encontradas menores amplitudes da concentração de O₃ nos meses mais chuvosos (dezembro - abril), e maiores amplitudes no período seco da região (junho - novembro). Analisando as concentrações para os anos de anomalias climáticas observou-se que durante o ano de La Niña (2011) houve uma diminuição da amplitude da concentração de O₃ no intervalo entre março-abril, mostrado pela figura 11a, enquanto que a precipitação, apresentada na Figura 13, atingiu a maior taxa do ano, cerca de 500 mm, no mês de abril/2011. Ainda em 2011, o intervalo de julho - agosto apresentou uma diminuição na amplitude da concentração de O₃. Já a temperatura esteve acima da normal climatológica durante todo o ano de 2011, conforme a Figura 14.

¹Trabalho apresentado para o XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia em 2016.

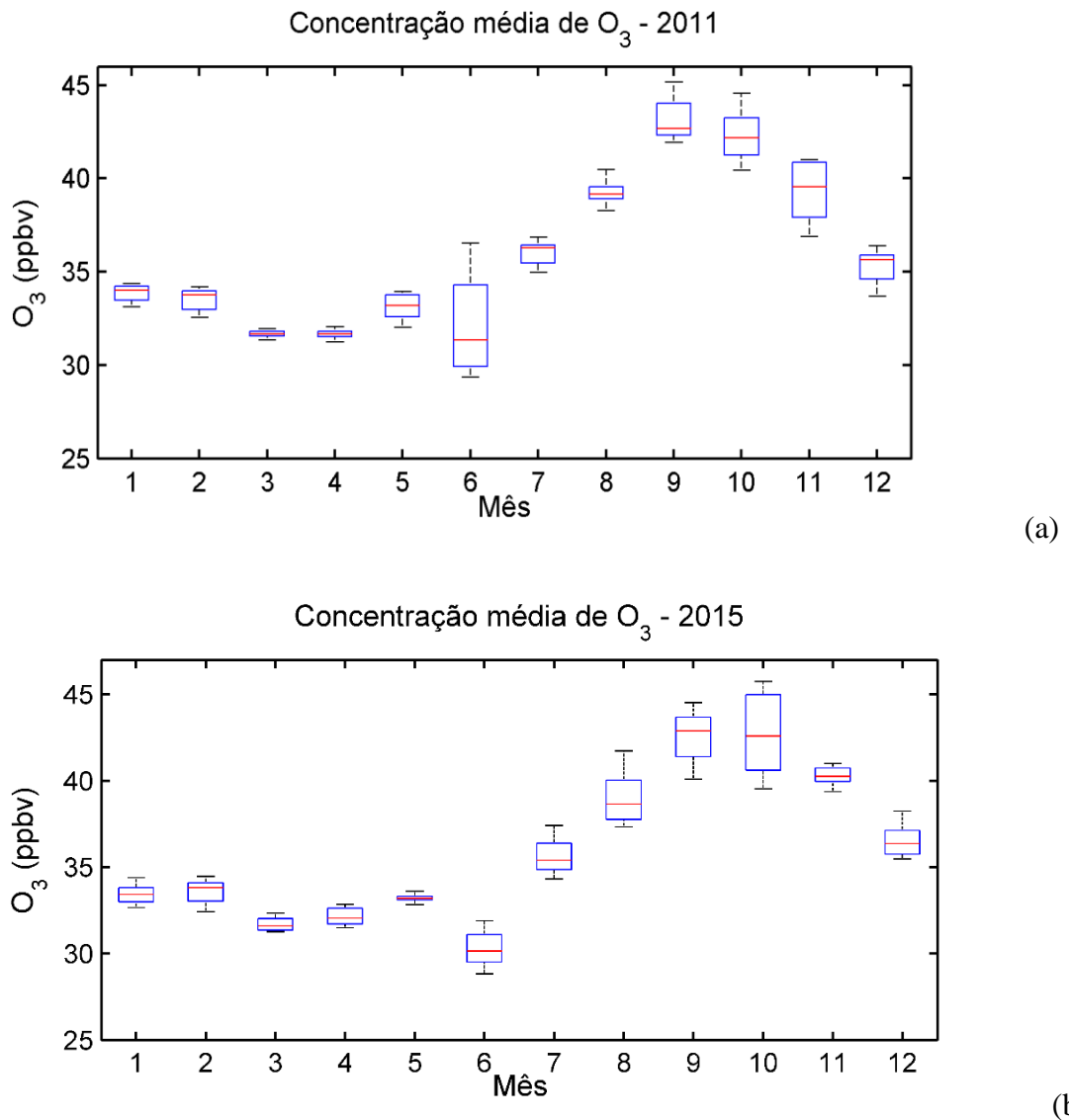


Figura 11 - Diagrama de caixas da concentração média do O₃ para a cidade de Manaus, nos períodos de (a) 2011 e (b) 2015.

Por outro lado, para o ano de El Niño, mostrado na figura 11b, houve apenas um mês cuja concentração média estimada apresentou diminuição (maio/2015). Nos demais meses, a variabilidade mensal da concentração de O₃ esteve com valores semelhantes ou superiores à série histórica, como destacado na Figura 12, com evidência no intervalo entre junho-outubro, quando maiores amplitudes e aumento nas concentrações de O₃ são notados. Além disso, durante a estação seca foram observadas reduções na taxa de precipitação e aumento na temperatura média mensal.

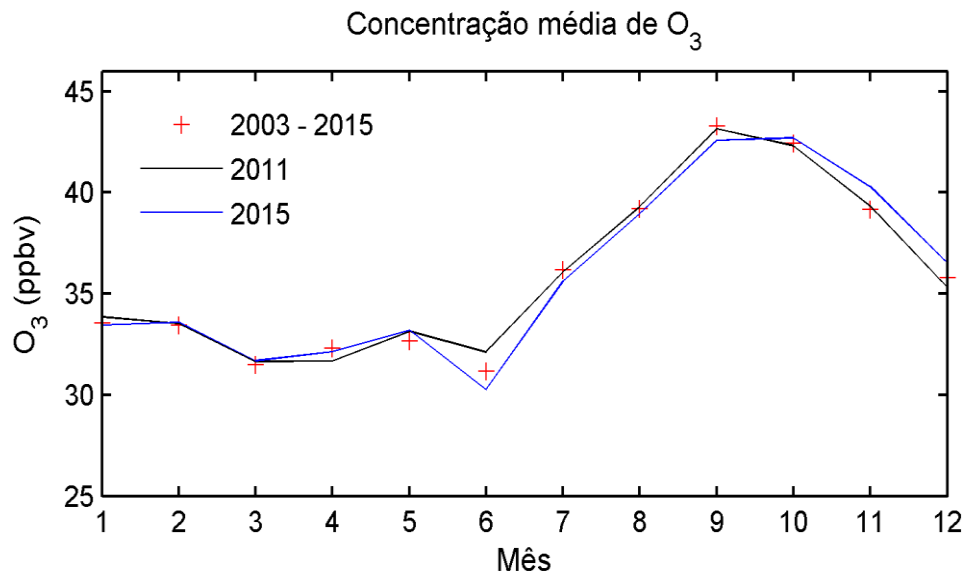


Figura 12 - Concentração média do O₃ mensal.

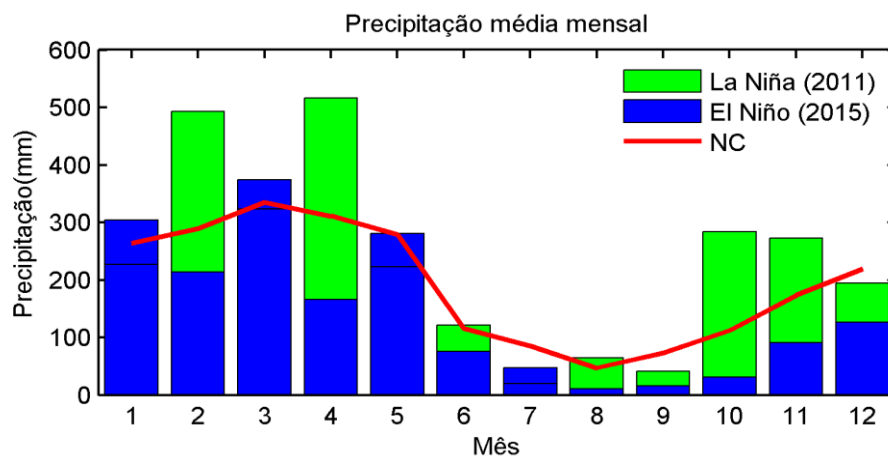


Figura 13 - Precipitação média mensal para Manaus

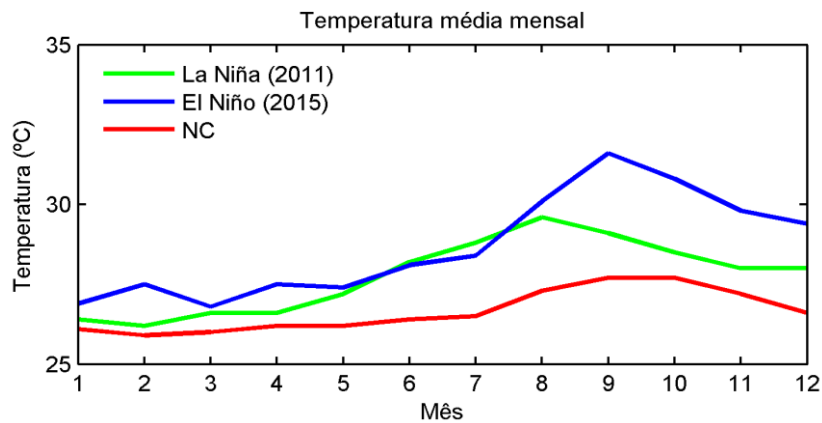


Figura 14 - Temperatura média mensal para Manaus.

A figura 15, deixa em destaque que mesmo em anos contrastantes de ENOS, os focos de queimadas apresentam sazonalidade definida tanto em anos secos e chuvosos, acompanhando a variação anual de temperatura e precipitação, apresentando um máximo de números de focos de queima no trimestre setembro-outubro-novembro. Porém, em anos de El Niño intenso, esse comportamento torna-se mais evidente, afetando ainda mais nas concentrações de ozônio, ao lançar na atmosfera seus precursores. Refletindo em maiores concentrações de ozônio no trimestre seco.

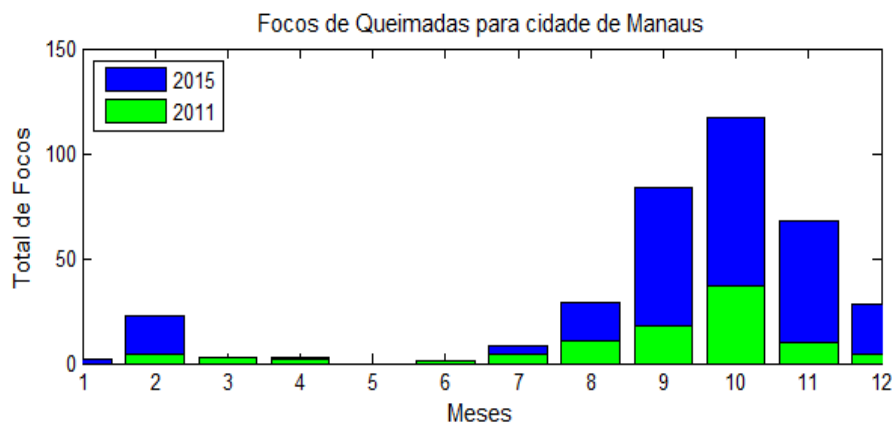


Figura 15 - Total mensal de focos de queimadas em Manaus para os anos 2011 e 2015.

4.3.2 Caso 2 - Influência do ENOS na variabilidade da concentração de ozônio estimada por satélite sobre Manaus. ²

Para o segundo estudo de caso são apresentadas através da figura 16, as séries temporais dos perfis mensais de ozônio para o período de 2013 a 2015. De forma geral, observa-se que a concentração média de ozônio aumenta à medida que a pressão atmosférica diminui, sendo evidentes maiores concentrações na altitude de 500 hPa e menores concentrações próximas a superfície (1000 hPa). Identifica-se também, nesta amostragem de dados históricos, que existe um ciclo médio sazonal bem definido nas concentrações de O₃, com máximos valores ocorrendo no segundo semestre de cada ano, coincidente com a estação seca da região em estudo. Além disso, observa-se uma segunda variação, na escala interanual, cujas maiores concentrações de O₃ apresentam valores de até 60 ppb para os anos de 2015, em níveis próximos da superfície (aproximadamente 900 hPa). Isto se deve, para este mesmo ano, provavelmente, ao recorde de número de focos de queimada registrado quando comparado aos outros anos, sendo 2008 o ano que apresentou menor número de focos para RMM, conforme apresentado na Figura 17.

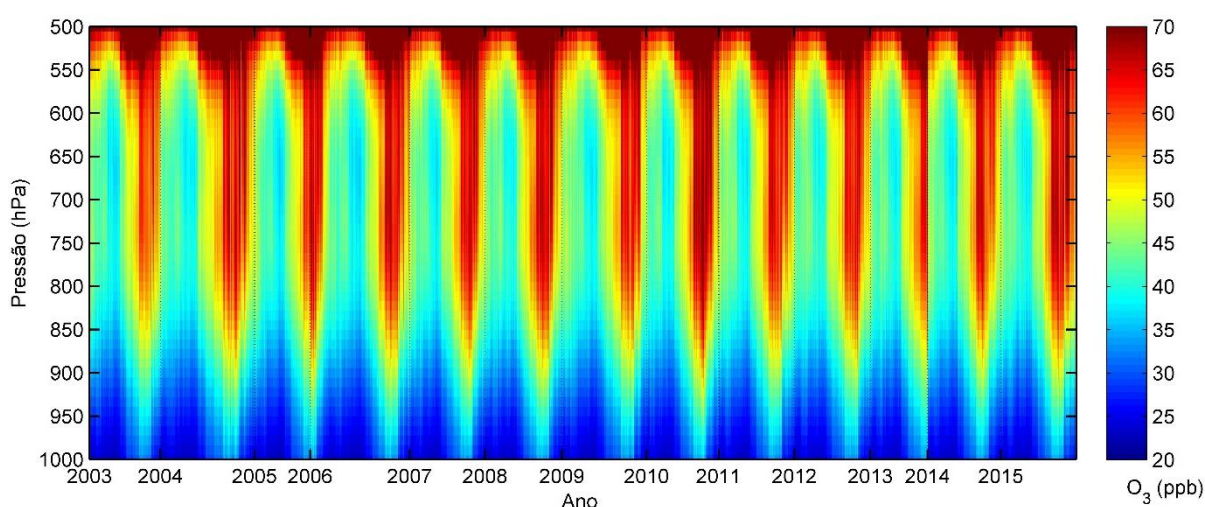


Figura 16 - Concentração média do perfil de O₃ entre 500 e 1000 hPa, para o período de 2003 a 2015, sobre a RMM.

²Trabalho apresentado para o XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2017.

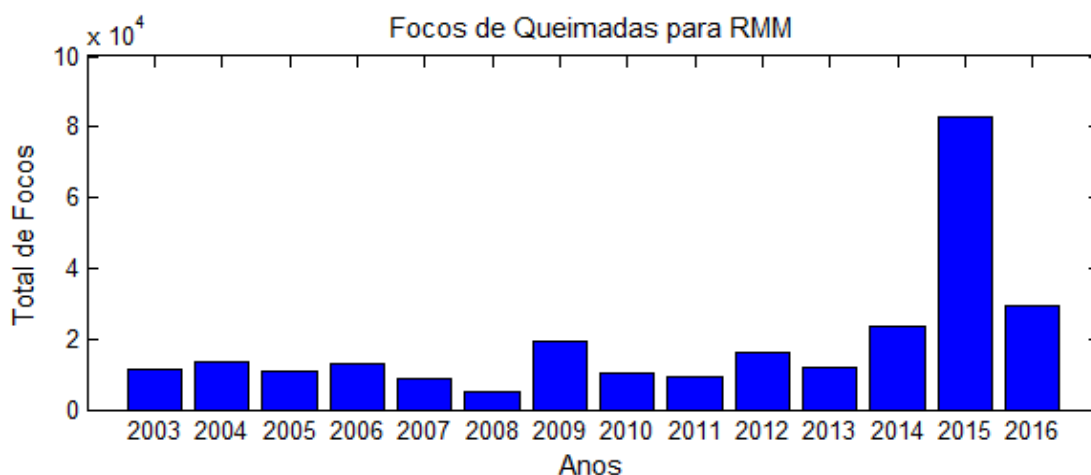


Figura 17 - Total de focos de queima para o período de 2003 a 2016 na região metropolitana de Manaus. **Fonte:** <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>.

A Figura 18 apresenta os perfis verticais médios durante as estações seca e chuvosa, para dois anos contrastantes. Observou-se nessa figura que durante o período chuvoso, para os anos de 2008 e 2015, as concentrações médias de O₃ estiveram em torno de 20 ppb, próximo a superfície, sendo apresentados o desvio padrão dos gases nos meses de janeiro e março. A medida que a pressão atmosférica diminui a concentração média de ozônio aumenta, de forma que em torno de 300-400 hPa são encontrados os maiores valores do perfil vertical de ozônio, em torno de 45 ppb. Por outro lado, no período seco as concentrações médias na baixa atmosfera estiveram em torno de 28 ppb. De maneira geral, os desvios associados ao comportamento médio do perfil da concentração de ozônio mostraram que existe uma diferença considerável nos meses de setembro e outubro sobre a RMM, sendo encontrados valores superiores a 60 ppb na alta troposfera, com maior amplitude dos desvios padrões nestas séries. Tais resultados mostram que as inferências da concentração de O₃, com base na climatologia por satélite (2003-2015), conseguem exprimir a variabilidade mensal do comportamento do perfil de ozônio, mesmo em baixos níveis.

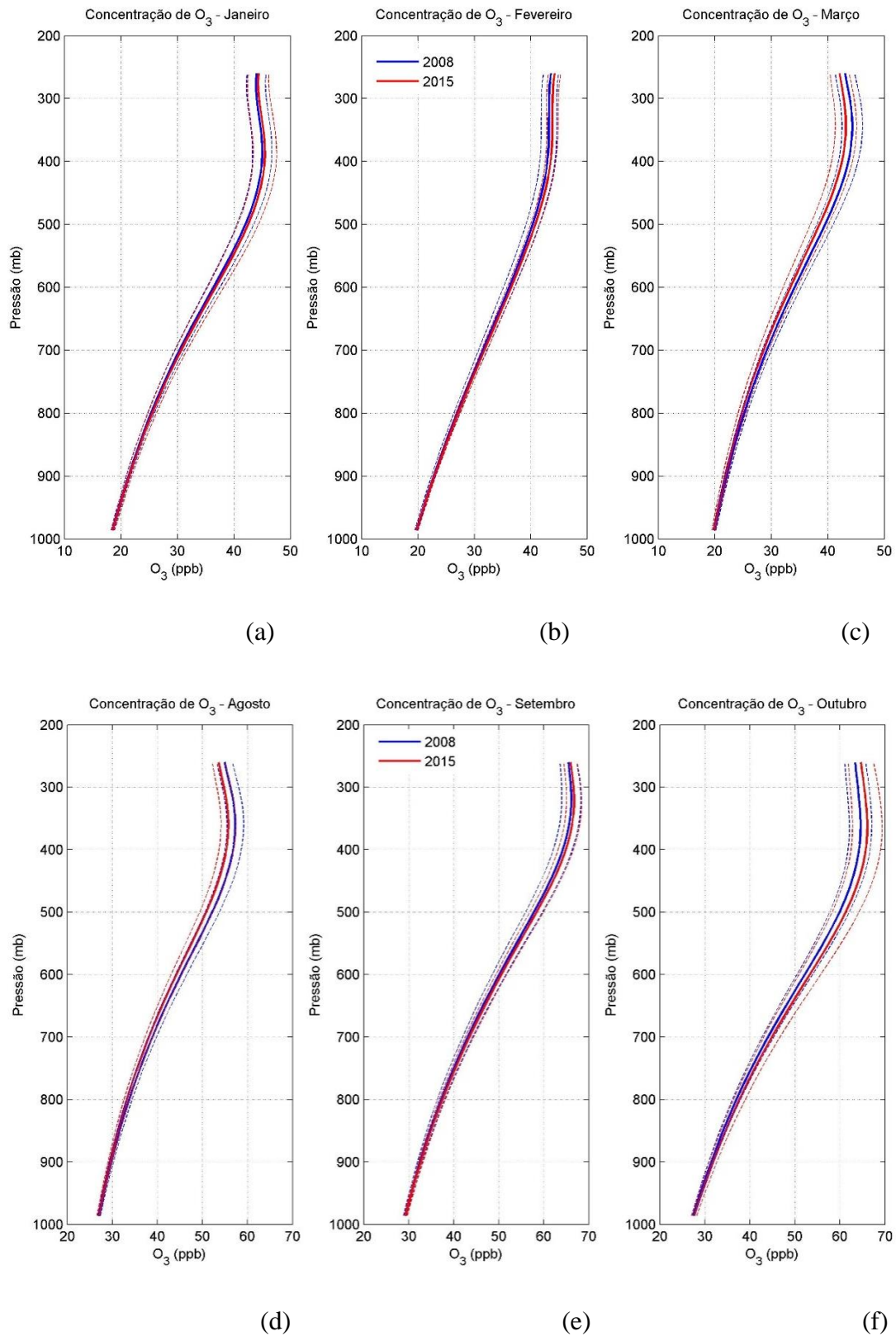
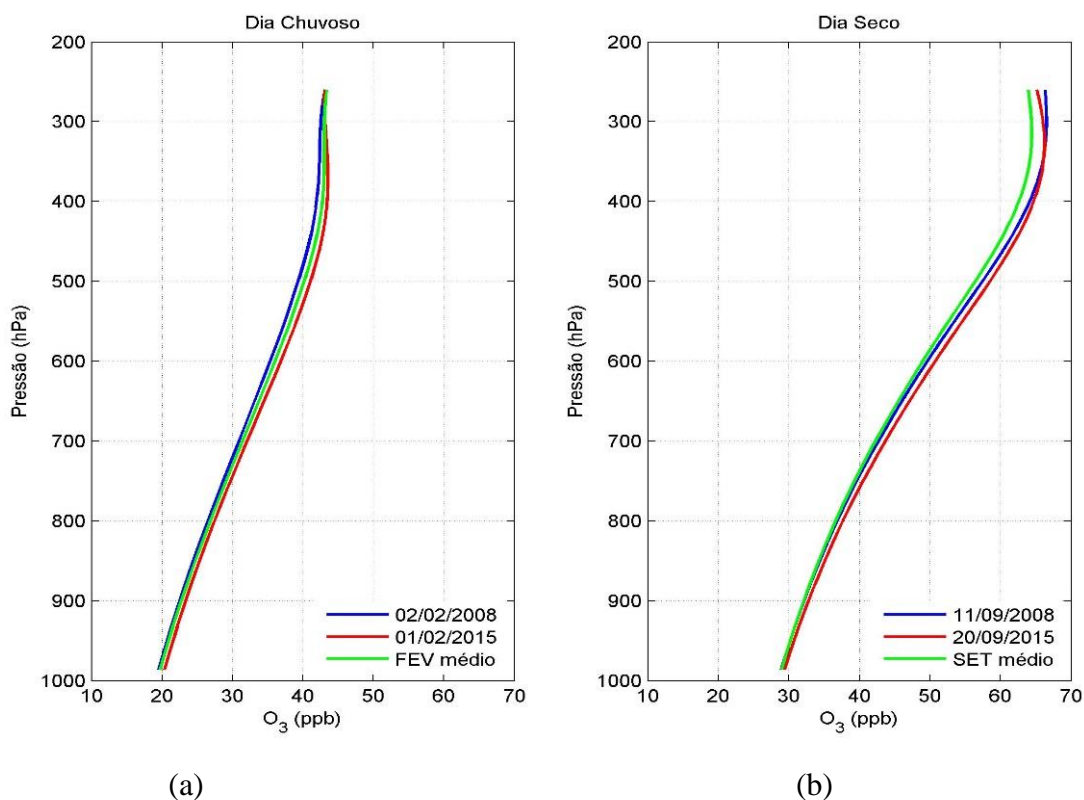
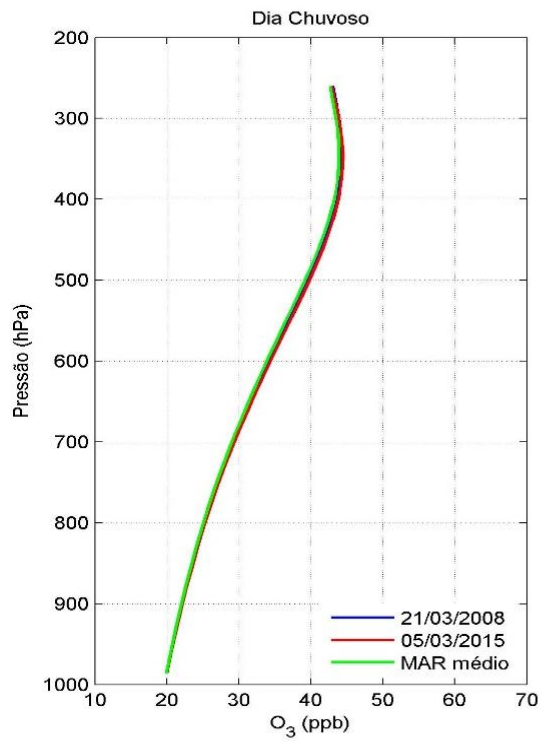


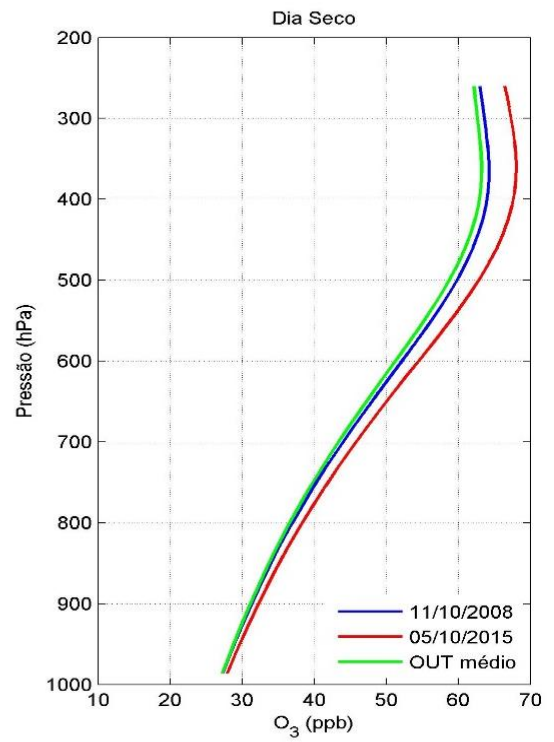
Figura 18-Perfil vertical médio de O_3 para RMM, para os meses de janeiro (a), fevereiro (b), março (c) e agosto (d), setembro (e) e outubro (f) em linha sólida, e desvio padrão do perfil médio apresentado para o mesmo período e variável em linha tracejada.

Considerando análises para dias específicos, retratados na Figura 19, observou-se que independente do período seco ou chuvoso da região, os valores representados no perfil médio das concentrações de O_3 , para o ano de 2015, foram superiores as concentrações de 2008. Em superfície os valores foram similares as concentrações médias mensais da série histórica de dados. No entanto, na alta troposfera, próximo a camada de 400 hPa, pode-se observar que, principalmente nos dias secos, a concentração média de O_3 ultrapassa o valor de 65 ppb, sendo desta forma, aproximadamente o dobro dos valores encontrados para os dias chuvosos. Este comportamento é esperado no regime seco, dado que para haver significativa formação de O_3 troposférico são necessários requisitos essenciais, como uma atmosfera com baixa atividade convectiva e grande disponibilidade de radiação solar incidente, acarretando no aumento da atividade fotoquímica. Desse modo, o aumento considerável da concentração de ozônio troposférico tomando em consideração um ano atipicamente seco, como no caso de 2015, sugere que um evento de escala interanual, como o El Niño possa ser um dos principais eventos moduladores da qualidade do ar sobre a RMM, já que o mesmo contribui com a supressão de chuvas, principal agente de “limpeza” da atmosfera. Tais resultados corroboram com o estudo realizado anteriormente por Ziemke et al.,(2015).





(c)



(d)

Figura 19 - Perfil vertical médio de O_3 para RMM, para os dias chuvosos dos meses de fevereiro e março (a) e (c); e secos dos meses de setembro e outubro (b) e (d), considerando a série temporal de dados de (2003-2015) para os meses apresentados.

Como visto anteriormente na primeira seção deste capítulo, em que o mês de outubro se destaca como o mês que apresentou os maiores totais de queimadas e ratificando esta informação, a Figura 20 apresenta os totais de focos para outubro de 2008 e 2015 na RMM (destacada por uma quadrícula). Nesta figura, pode-se observar como os focos de queimadas estão distribuídos espacialmente sobre essa região, principalmente quando se analisa as distribuições em do total de focos de queima no ano de 2015, ano de El Niño e no ano de 2008 que foi um ano de La Niña. Comparando os dois mapas nota-se um número menor de totais de focos, para o mês de outubro de 2008.

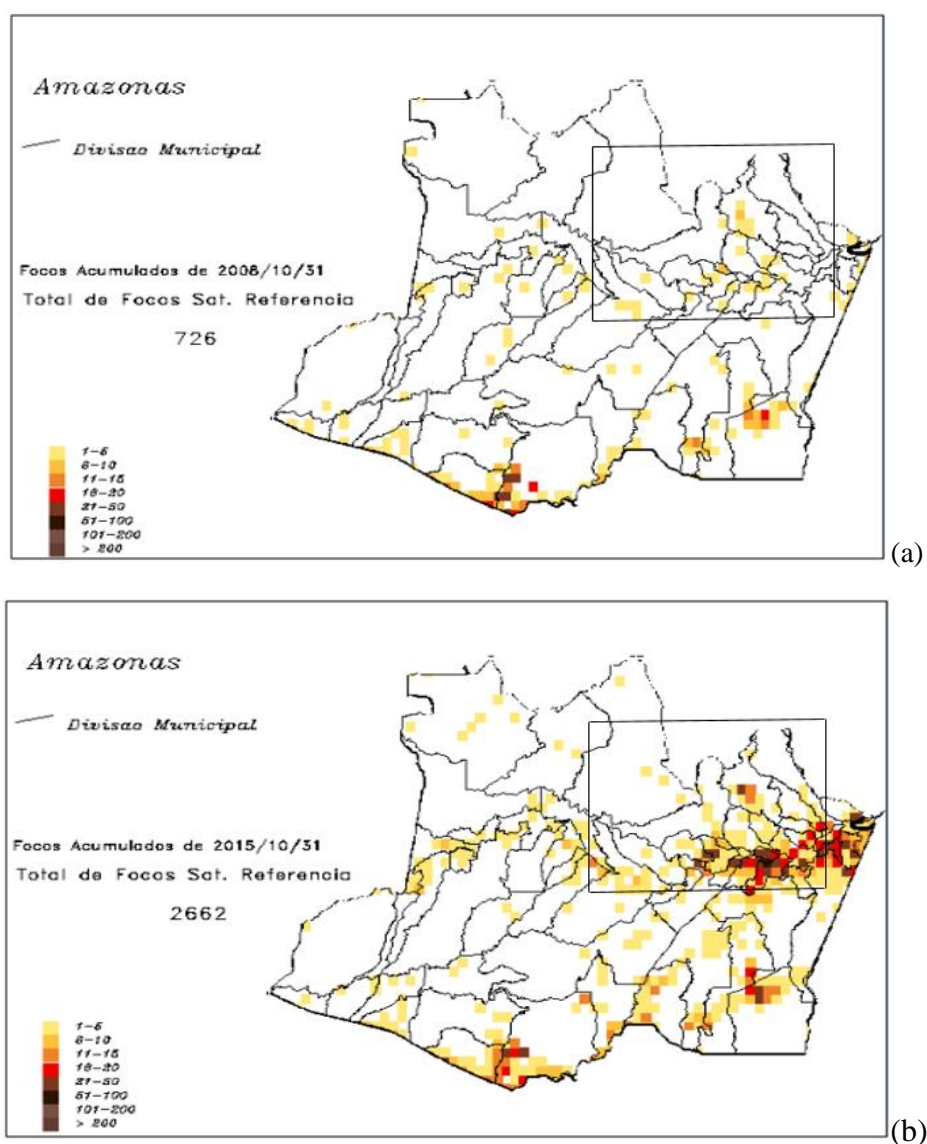


Figura 20 - Total de focos acumulados no mês de outubro de 2008 (a) e outubro de 2015 (b). Fonte: Programa de Queimadas CPTEC/INPE. Disponível em :<<http://www.inpe.br/queimadas/outros-produtos/mapas-mensais-filmes>>.

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusões

As secas prolongadas que ocorrem na Amazônia, associadas à ocorrência de eventos intensos de El Niño contribuem para propagação de queimadas, que liberam grandes quantidades de monóxido de carbono (CO) na atmosfera, o qual reage com outros produtos químicos para a produção de ozônio. Dentro deste contexto, este trabalho se propôs a um estudo sobre a variabilidade da concentração destes gases sobre a RMM, com o objetivo de entender o comportamento médio e suas relações com o evento interanual ENOS e focos de queimadas.

Os resultados obtidos nas análises das concentrações dos gases em estudo, para o período correspondente entre 2003 a 2015, apresentaram uma variação sazonal semelhante em suas concentrações médias mensais, com os menores valores de CO e O₃ ocorrendo no primeiro semestre do ano, apresentando um aumento gradual a partir junho e com picos em setembro e outubro. A maior concentração nos meses de setembro a outubro está associada à maior concentração de focos de queima na região que ocorrem nesse período.

Particularmente para o município de Manaus, a qualidade do ar durante os meses secos é caracterizada por maiores concentrações de ozônio, com média de 43 ppb, uma vez que a atmosfera encontra-se mais estável, se comparada ao período chuvoso, favorecendo a ocorrência de reações fotoquímicas na atmosfera. Em anos de El Niño, essa concentração média de ozônio pode ser ainda maior dependendo da atuação e intensidade deste fenômeno.

As observações realizadas pelo satélite ambiental AQUA fornecem um conjunto de dados úteis para realizar estudos sobre a relação entre as condições climáticas e os níveis de poluição atmosférica na RMM, de modo que, para a fase negativa do ENOS (La Niña) a concentração média de O₃ esteve abaixo dos limiares de qualidade do ar estabelecidos pela CONAMA. Por outro lado, quando configurada a fase positiva do ENOS (El Niño), o aumento da concentração de ozônio troposférico, coincidente com o período de grande disponibilidade de radiação solar, baixa atividade convectiva na região e intensa atividade de queima de biomassa, pode se tornar alarmante, em virtude de concentrações entre 60-70 ppb serem consideradas prejudiciais à saúde da população, conforme diretrizes da OMS.

REFERÊNCIAS

AIRES, C. B.; KIRCHHOFF, V.W.J.H. Transporte de Monóxido de Carbono em Queimadas para Regiões onde não se Queima. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 19(1), 2001.

AIRS Science Team/Joao Texeira. Aqua AIRS Level 2 Support Retrieval (AIRS+AMSU), version 006, Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Earth Science Data and Information Services Center (GES DISC), 2013. Accessed Enter User Data Access Date at doi:10.5067/AQUA/AIRS/DATA207.

ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; BECK, V.; BELA, M.; FREITAS, S.; GERBIG, C.; LONGO, K.; MUNGER, J. W.; WIEDEMANN, K. T.; WOFSY S. C.: Carbon monoxide and related trace gases and aerosols over the Amazon Basin during the wet and dry seasons. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 6041–6065, 2012. doi:10.5194/acp-12-6041-2012.

ANDREOLI, R.V.; SOUZA, R.A.F.; KAYANO, M.T.; CANDIDO, L.A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. *Int.J.Climatol.*, 32, 1193–1205. doi:10.1002/joc.2345, 2012

ARTAXO, P.; MAENHAUT, W. Trace Trace Element Concentrations and Size Distribution of Biogenic Aerosols from the Amazon Basin During the Wet Season. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B49* (1990) 366-371, Holanda, 1990.

ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; BRITO, J. F.; BARBOSA, H. M. J.; ARANA, A.; SENA, E. T.; CIRINO, G.G.; BASTOS, W.; MARTIN, S. T.; ANDREAE, M. O. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday discussions* 165 (0), 203-235, 2013.

CHANDRA, S.; ZIEMKE, J. R.; DUNCAN, B. N.; DIEHL, T. L.; LIVESEY, N. J.; FROIDEVAUX, L. Effects of the 2006 El Niño on tropospheric ozone and carbon monoxide: implications for dynamics and biomass burning. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 9, 2735–2761. DOI: 10.5194/acp-9-4239-2009, 2009.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução da CONAMA, N.º 003 de 28 de junho de 1990. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 15 de junho de 2017.

COSTA, P. S. Concentração do ozônio em dois sítios experimentais da Região Metropolitana de Manaus: Medidas em superfície e estimativas remotas. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em clima e ambiente, INPA-UEA. Manaus, 2015.

CRUTZEN, P.J. Overview of tropospheric chemistry: Developments during the past quarter century and a look ahead. *Faraday Discussions*, 100: 1-21. 1995.

D'AMELIO, M. T. S. Estudos dos gases de efeito estufa na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, 24-37, 2006.

DOHERTY, R.M.; STEVENSON, D.S.; JOHNSON, C.E.; COLLINS, W.J.; SANDERSON, M.G. Tropospheric ozone and El Niño-Southern Oscillation: Influence of atmospheric dynamics, biomass burning emissions, and future climate change. Accepted JGR 2006.

DUTRA, E. G.; FIORAVANTE, E. F.; FERREIRA, F. D. Emissão veicular e o ozônio troposférico na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *In: 9º Congresso Ibero americano de Ingeniería Mecánica*, Las Palmas de Gran Canaria, p. 29-33, 2009.

DUTRA, J. M.; SOUZA, R. A. F.; SILVA, J. T.A Transformada em Ondas aplicadas a séries de Ozônio Troposférico e Monóxido de Carbono sobre regiões de Pastagem e Floresta a partir de Sondagens *AQUA*. *Revista Brasileira de Geografia Física* V. 07 N. 02. (2014) 234-242, 2013.

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estud. av.*, São Paulo, v. 16, n. 44, Apr. 2002.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazônica*. 28(2): 101-126, 1998.

FISHMAN, J., *et al.* Identification of widespread pollution in the Southern Hemisphere deduced from satellite analyses, 1991. *Science* 252, 1693–96.

FREITAS, S.; LONGO, K.; SILVA DIAS, M.; SILVA DIAS, P.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; GRELL, G.; RECUERO, F. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America, *Environmental Fluid Mechanics*, doi:10.1007/s10652-005-0243-7, v.5, p.135–167, 2005.

FUJIWARA, M.; KITA, K.; KAWAKAMI, S.; OGAWA, T.; KOMALA, N.; SARASPRIYA, S.; SURIPTO, A. Tropospheric ozone enhancements during the Indonesian forest fire events in 1994 and in 1997 as revealed by ground-based observations, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 2417 – 2420, 1999.

GERKEN, T.; WEI, D.; CHASE, R.J.; FUENTES, J.D.; SCHUMACHER, C.; MACHADO, L.A.T.; ANDREOLI, R.V.; CHAMECKI, M.; FERREIRA DE SOUZA, R.A.; FREIRE, L.S.; JARDINE, A.B.; MANZI, A.O.; NASCIMENTO DOS SANTOS, R.M.; VON RANDOW, C.; COSTA, P. S.; STOY, P. C.; TÓTA, J.; TROWBRIDGE, A.M. Downward transport of ozone rich air and implications for atmospheric chemistry in the Amazon rain forest, *Atmospheric Environment* (2015), doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.11.014.

GUIMARÃES, P. C.; SOUZA, L.; RIBEIRO, I. O.; MEDEIROS, A. S.; MAGALLHÃES, M. R.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. Influência do ENOS na variabilidade de ozônio estimada por satélite sobre uma metrópole na Amazônia. *In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR XVIII, Santos – SP, 2017.*

HILKER, T.; LYAPUSTIN, A.; TUCKER, C. J.; HALL, F.; MYNENI, R.; WANG, Y.; BI, J.; MOURA, Y. M. e SELLERS, P. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. Publicado em 27 de outubro, 2014. doi:10.1073/pnas.1404870111PNAS. vol. 111no. 45 16041-16046, 2014.

IEMA, Instituto de energia e meio ambiente. Qualidade do ar e Clima. Disponível em: <<http://www.energiaeambiente.org.br/2015/09/qualidade-do-ar-e-clima>>. Acesso: em 01 de Junho de 2017.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 03 set 2016.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em <http://queimadas.cptec.inpe.br>. Acesso em: 12/08/2016.

_____, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, 2016 Disponível em <<http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/namidia/2015_namidia_INPE_Queimadas>>. Acesso em: Acesso em 25 de março, 2016.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IRI, International Research Institute for Climate and Society. El Niño Conference Report, 2015. Earth Institute. Columbia University. Disponível em <<http://features.iri.columbia.edu/el-nino-conference-2015-report>>. Acesso em 25 de janeiro de 2017.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. Increasing concentrations of CO and O₃ rising deforestation rates and increasing tropospheric carbon monoxide and ozone in Amazonia. *Environmental Science and Pollution Research*.3: 210-212, 1996.

KUHN, U.; GANZVELD, L.; THIELMANN, A.; DINDORF, T.; SCHEBESKE, G.; WELLING, M.; SCIARE, J.; ROBERTS, G.; MEIXNER, F. X.; KESSELMEIER, J.; LELIEVELD, J.; KOLLE, O.; CICCIOLO, P.; LLOYD, J.; TRENTMANN, J.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O. Impact of Manaus City on the Amazon Green Ocean atmosphere: Ozone production, precursor sensitivity and aerosol load. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10 (19), 9251-9282, 2010.

LYNCH, P. El Niño could drive intense season for Amazon fires. NASA, Goddard Space Flight Center, 2016. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/el-ni-o-could-drive-intense-season-for-amazon-fires>. Acesso em 20 de março de 2017.

LOGAN, J.A.; PRATHER, M. J.; WOFSY, S.C.; MCELROY, M. B. Tropospheric chemistry: A global perspective, *J. Geophys. Res.*, 86, 7210-7254, 1981.

MARENGO, J.; DRUYAN, L., HASTENRATH, S. Observational and modeling studies of Amazonia interannual climate variability. *Clim. Change*, 23, 267-286, 1993.

MEREDITH, G.; HIRAM, L.II; GREGORY, C.R. Impacts of biomass burning on tropospheric CO, NO_x, and O₃. *Journal of Geophysical Research*, Vol.105.NO.D5, pages 6633-6653, March 16, 2000.

MOLLMANN, J.; SILVA, R. S.; COSTA, S.M.S.; LISBÔA, M.B.; Study of Dispersion of Carbon Monoxide emitted by biomass burning in the Amazon on August 19, 2010 based on WRF-CHEM simulation and Remote Sensing. *Ciência e Natura*, v. 37 Ed. Especial SIC, 2015, p.144 – 152, doi:10.5902/2179460X16230, 2015.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. Atmospheric Infrared Sounder. Disponível em: <[http://airs.jpl.nasa.gov/weather and climate sciences/composition](http://airs.jpl.nasa.gov/weather_and_climate_sciences/composition)>. Acesso em: 4 de Abril de 2016.

_____, National Aeronautics and Space Administration. Earth Observatory. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOP_CO_M&eocn=home=&eci=globalmaps>. Acesso em 23 de janeiro de 2017.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/>>. Acesso em 25 de março, 2016.

OMAN, L. D., et al. The response of tropical tropospheric ozone to ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, 38, L13706, doi: 10.1029/2011GL047865, 2011.

PETENATE, M. Escola EDTI. Como fazer análise de dados. Disponível em: <<http://mkt.escolaedti.com.br/ebook-como-fazer-analise-de-dados>>. Acessado em 27 de março de 2017.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, SP. Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change. New York, USA. John Wiley & Sons Inc., 1998. p. 20-111, 140-152, 234-330, 766-775, 1098.

SETZER, A. As queimadas na Amazônia e a Consciência Ambiental Nacional. CPTEC/INPE. Palestra, SIPAM, Manaus, 2005.

SOUZA, L.; GUIMARÃES, P. C.; RIBEIRO, I. O.; MEDEIROS, A. S.; MAGALLHÃES, M. R.; SOUZA, R. A. F.; ANDREOLI, R. V. Concentração de ozônio sobre a cidade de Manaus a partir de dados remotos. *In: XIX Congresso Brasileiro de Meteorologia – CBMET XIX, João Pessoa – PB, 2016.*

SUSSKIND, J.; BARNET, C.; BLAISDELL, J. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.2, p. 390-409, 2003.

SUSSKIND, J. Early results from AIRS/AMSU/HSB. SPIE Annual Meeting, Conference on Remote Sensing and Space Technology. Agosto, 2003.

VAN LEEUWEN, T. T.; VAN DER WERF, G. R. Spatial and temporal variability in the ratio of trace gases emitted from biomass burning. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 3611–3629, 2011.

VAROTSOS, C. A.; TZANIS, C. G.; SARLIS, N. V.: On the progress of the 2015–2016 El Niño event, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 2007-2011, doi:10.5194/acp-16-2007-2016, 2016.

WARNER, J. X. et al.: Improved agreement of AIRS tropospheric carbon monoxide products with other EOS sensors using optimal estimation retrievals. DOI:10.5194/acp-10-9521-2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 9521–9533, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Monitoring ambient air quality for health impact assessment. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, World Health Organization, 1987.

YURGANOV, L. N.; MCMILLAN, W.; DZHOLA, A. V.; GRECHKO, E. I.; JONES, N. B. e van der WERF, G. R. GlobalAIRS and MOPITT CO measurements: validation, comparison, and links to biomass burning variations and carbon cycle. *Journal of Geophysical Research*, 113 (D9), 1-14. 2008

ZIEMKE, J.R.; CHANDRA, S. La Nina and El Nino - induced variability of ozone in the tropical lower atmosphere during 1970–2001. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 30, NO. 3, 1142, 2003.

_____, J. R.; DOUGLASS, A. R.; OMAN, L. D. ; STRAHAN, S. E.; DUNCAN, B. N. Tropospheric ozone variability in the tropics from ENSO to MJO and shorter timescales. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 8037-8049, 2015.