

## OSÔNIO TROPOSFÉRICO E IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA: UMA ABORDAGEM SINTÉTICA DA REVISÃO DA LITERATURA

<sup>1</sup>Elizabeth da Rocha Couto

<sup>2</sup>Luciano da Silva Alves

<sup>3</sup>Verônica Dietrich Lesnik

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar uma abordagem sintética sobre a formação do ozônio troposférico e os principais impactos associados ao meio ambiente e à saúde humana. Este estudo foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica visando o levantamento de dados e informações, sobre Ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico para compor uma revisão da literatura sintética. O ozônio é um poluente secundário, onde os principais poluentes que participam, como precursores, na sua formação são óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos. O ozônio troposférico em níveis elevados de concentração provoca impactos ao meio ambiente e à saúde humana. Algumas enfermidades causadas pelo ozônio estão associadas a problemas respiratórios, cardiovasculares e irritações.

**Palavras-chave:** Ozônio Troposférico; Impactos; Saúde; Meio Ambiente.

### 1. INTRODUÇÃO

Quando se trata de poluição atmosférica, ao longo dos anos o ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico tem sido poluente alvo de estudos em áreas urbanas, sob influência industrial e áreas remotas. Apesar do ozônio ser benéfico na estratosfera (camada gasosa responsável por filtrar a entrada de radiação ultravioleta), quando formado na troposfera pode provocar impactos significativos ao meio ambiente e à saúde humana. Os poluentes atmosféricos são divididos em primários e secundários. Segundo Antunes *et. al.* (2008), entende-se por poluente primário, aquele que é emitido diretamente da fonte; e poluente secundário, os que são formados por reações na atmosfera.

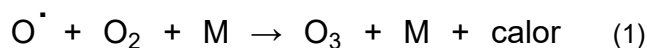
<sup>1</sup>Engenheira Química, Escola Politécnica da UFBA (1990); Mestre em Química, Instituto de Química da UFBA (1996); Especialista em Gestão Ambiental, CDG-Alemanha (1999); Especialista em Educação, FBB (2003); Doutora em Química, Instituto de Química da UFBA (2011) e Docente do Centro Universitário Jorge Amado; e-mail: elizabeth.couto@unijorge.pro.br

<sup>2</sup>Engenheiro Ambiental e Sanitarista; e-mail: luciano.eng@outlook.com

<sup>3</sup>Técnica em Meio Ambiente, Instituto de Educação Cenequista Professor Alcides Conter (2011); Engenheira Ambiental e Sanitarista; e-mail: veronica.lesnik@hotmail.com

As espécies químicas precursoras na formação do ozônio podem ser emitidas por fontes móveis ou estacionárias. Entretanto, alguns fatores podem influenciar esse processo de formação. Nesse sentido, destacam-se as condições meteorológicas e topográficas, onde ambos podem interferir os níveis de concentração e na dispersão dos poluentes na atmosfera (NETTO *et al.*, 2017). Tendo em vista essas circunstâncias, a formação do ozônio complexidade na identificação de sua fonte emissora.

Segundo Finlaysson-Pitts e Pitts (1997, *apud* Dallarosa, 2005 p.11), a reação mais importante na atmosfera para produção do ozônio, ocorre entre o oxigênio atômico e o molecular, conforme a reação abaixo:



A Resolução CONAMA nº 491/2018, responsável por dispor dos padrões da qualidade do ar, estabelece para o ozônio concentrações de média aritmética a cada 8 horas, onde o limite do Padrão Final (valor limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde) corresponde a  $100 \mu\text{gm}^{-3}$ . De acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018, quando o valor do limite padrão é excedido, o  $O_3$  se torna nocivo ao bem-estar e saúde da população e ao meio ambiente.

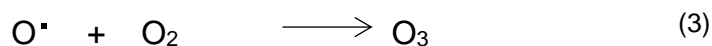
Diante desse cenário, o objetivo deste estudo foi realizar uma abordagem sintética sobre a formação do ozônio troposférico e os principais impactos associados ao meio ambiente e à saúde humana.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

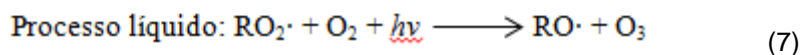
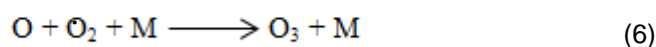
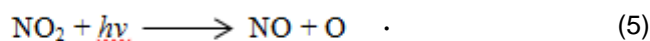
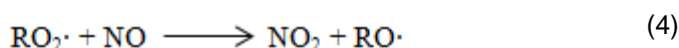
O ozônio existe em duas camadas da atmosfera: na troposfera que é a camada que se inicia na superfície terrestre, atinge até 12 quilômetros de altura a partir do nível do mar, tendo a sua temperatura reduzida cerca de  $6,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a cada quilômetro (SILVA *et al.*, 2009). Nela ocorrem os fenômenos como chuva, formação de nuvens e relâmpagos. Ainda de acordo com SILVA *et al.* (2009), a estratosfera é a camada próxima ao final da troposfera com altura de até 50 quilômetros acima do solo, possuindo variação de  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – e nela se

localiza a camada de ozônio. A camada de ozônio é uma espécie de filtro natural que encobre a Terra protegendo os seres dos raios ultravioleta.

Os níveis de ozônio formados na troposfera dependem das concentrações de compostos orgânicos voláteis, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e da intensidade da radiação solar, de acordo com uma relação não linear (MARTINS, 2006). Conforme Baird (2011), a principal fonte de átomos de oxigênio na troposfera, no entanto, é a dissociação fotoquímica das moléculas de dióxido de nitrogênio,  $\text{NO}_2$ , provocada pela luz solar:



Grandes centros urbanos são locais propícios à formação de ozônio troposférico por constituírem os compostos nitrogenados, um dos principais fatores de geração do  $\text{O}_3$ . Conforme Dallarosa (2005), os radicais peróxi ( $\text{RO}_2^\bullet$ , onde R é um grupo alquil) que são oxidados nas moléculas de hidrogênio, conseguem reagir com o  $\text{NO}$  formando o  $\text{NO}_2$ , conseqüentemente proporcionando maior quantidade de moléculas para formação do ozônio, conforme as reações detalhadas abaixo:



## 2.1 Ozônio e Radiação Solar

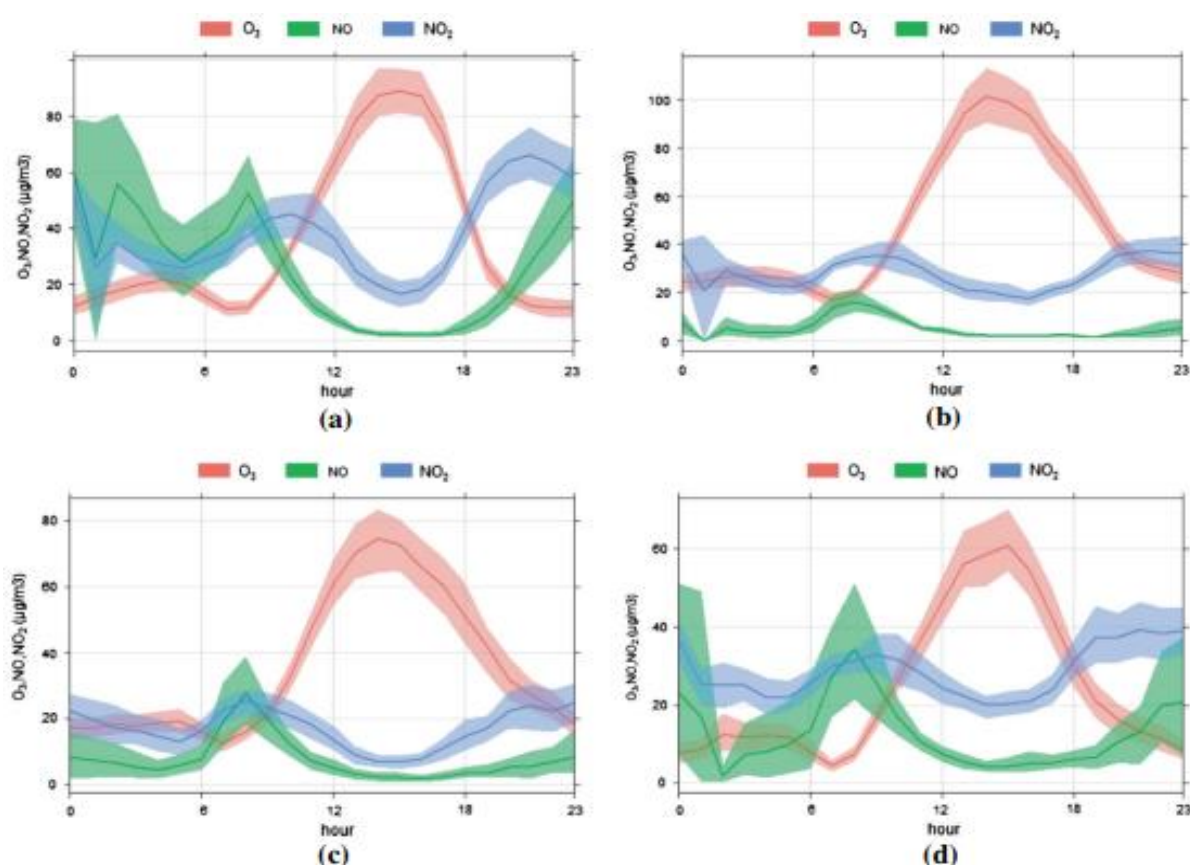
A radiação solar tem um papel importante na formação do ozônio na troposfera, pois funciona como um catalisador aumentando a velocidade da reação principal.

Devido à necessidade de fótons para que as reações entre os elementos precursores aconteçam, alguns estudos demonstram que a relação entre  $\text{O}_3$  e

incidência solar tende a acontecer de forma proporcional, onde nos períodos em que a radiação solar aumenta as concentrações de  $O_3$  também tendem a aumentar (ANTUNES *et. al.*, 2008; MARTINS e RODRIGUES, 2001; NETTO *et. al.*, 2017). É preciso destacar que incidência de radiação solar na atmosfera além de estar atrelada ao clima local, pode ser relacionada a variáveis como as estações do ano e horários do período amostral.

Na Figura 1 é possível verificar que durante a primavera e verão, as concentrações de  $O_3$  foram às maiores. Observa-se também que em todas as estações do ano, os picos de  $O_3$  foram acentuados no intervalo de tempo entre as 12:00 e 18:00 horas, caracterizando como o período em que há maior incidência de  $O_3$  na atmosfera.

Figura 1: Variações Cíclicas das Concentrações de  $O_3$ , NO e  $NO_2$  durante o (a) Inverno, (b) Primavera, (c) Verão e (d) Outono



Fonte: (NOGUEIRA *et. al.*, 2014).

Ao analisar o comportamento dos NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>) na atmosfera, durante as primeiras horas da manhã, percebe-se um aumento nos níveis de concentração. Para Nogueira *et. al.* (2014), este fato está associado ao aumento do tráfego de veículos durante o período. Foi possível, ainda, identificar através da Figura 1 que, quanto a correlação entre o O<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>), as variações de concentração de NO<sub>x</sub> demonstram que a partir do instante em que a quantidade de O<sub>3</sub> aumenta, os níveis de concentração de NO e NO<sub>2</sub> tendem a diminuir. Segundo (NETTO *et al.*, 2017), a relação existente está associada ao fato das reações ocorrerem de forma catalisada.

## 2.2 Impactos do Ozônio no Meio Ambiente

O efeito do ozônio sobre o meio ambiente foi descoberto antes de se conhecer os agravos causados a saúde humana. Devido à característica oxidante, o O<sub>3</sub> afeta o desenvolvimento das plantas, causando prejuízos em setores como a agricultura e agropecuária.

Devido os interesses econômicos, as perdas produtivas tem sido uma preocupação crescente. Desse modo, as primeiras plantas a serem estudadas, foram as de cultivo. É estimado que cerca de 5% das perdas totais da safra, está associado a poluição do ar (STERN *et al.*, 2008). Vale ressaltar que as perdas são mais intensas em regiões que apresentam elevados níveis de poluição e em locais onde predomina culturas mais susceptíveis.

Atualmente o tabaco (*Nicotina tabacum*) é a espécie bioindicadora mais utilizada em pesquisas que possuem a finalidade de entender o comportamento do O<sub>3</sub> nos vegetais (PIMENTA, 2010). Os bioindicadores são organismos vivos capazes de auxiliar na detecção de alterações no meio ambiente, por meio de patologias apresentadas em suas estruturas internas ou externas (CARNEIRO, 2004).

Apesar da característica, fatores como a idade da planta, temperatura e umidade podem comprometer o estudo da poluição atmosférica com espécies bioindicadoras. Para tanto, estas variáveis devem ser anuladas através da

padronização metodologias utilizadas para identificação do poluente no vegetal (MAIOLI *et al.*, 2008). Dentro desse contexto, pode-se afirmar que esses organismos podem ser inseridos nas políticas públicas ambientais, servindo como objeto de subsidio ao monitoramento e auxiliando nas tomadas de decisões (KLUMPP, 2001).

Num estudo realizado por Martins e Rodrigues (2001), onde o tabaco foi submetido a diferentes concentrações de O<sub>3</sub> (60, 120, 160 e 200 ppb), pôde-se observar que os maiores danos apresentados pela planta ocorreram mediante a exposição à concentração de 120 ppb. Isto, de certa forma, contrariou a expectativa de que os maiores danos seriam observados na planta após a exposição em nível de concentração de 200 ppb. Segundo Martins e Rodrigues (2001), o fato está associado ao vínculo existente com o fluxo de ar. Supõe-se para este caso que quando o tabaco foi submetido a 120 ppb, a relação entre quantidade de O<sub>3</sub> e ar tenha favorecido a captação deste poluente pelo tabaco.

Outro problema a ser destacado é o baixo desempenho fotossintético das plantas na presença do O<sub>3</sub>. Estima-se que desde a Revolução Industrial, o aumento do O<sub>3</sub> tem resultado na diminuição da atividade fotossintética das plantas (WITTIG *et al.*, 2007). Quando em contato com as folhas, o ozônio mata as células presentes no estômato, inviabilizando as trocas gasosas. Com isso, é possível afirmar que o processo contribui com aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera (MARTINS E RODRIGUES, 2001).

Para Wittig *et al.* (2009), o ozônio representa o poluente que mais causa danos as plantas. A exposição de espécies a baixas concentrações pode não ocasionar efeitos notáveis. Entretanto, quando submetida a elevadas concentrações de O<sub>3</sub> durante um intervalo de tempo considerado, lesões fisiológicas e bioquímicas podem ser identificadas (STERN *et al.*, 2008).

Segundo Martins; Rodrigues (2001), a identificação mais simples dos prejuízos causados a planta, pode ser realizado através de análises em sua estrutura física que indiquem o comprometimento da saúde vegetal. Acredita-se que as

principais injúrias causadas pelo O<sub>3</sub> estejam ligadas a pigmentação, necrose, clorose e branqueamento (CETESB, 2016).

A Figura 2 apresenta o efeito do ozônio no tabaco. Ao observar a planta da imagem à direita, é possível observar que as injurias causadas pelo O<sub>3</sub> resultaram em pigmentos amarelados na superfície foliar. Nota-se, também, a distinção de cor (clorofila) entre as plantas. A saudável apresenta coloração verde, mais forte que a submetida ao O<sub>3</sub>. Segundo Cetesb (2016), o fato está associado a morte das células presentes no estômato e, por conseguinte a diminuição da atividade fotossintética, que por sua vez, resulta na redução da vida da planta.

Figura 2: Efeito do Ozônio sobre a *Nicotina tabacum*. A esquerda está apresentada a planta em condições saudáveis e a direita, sobre ação do O<sub>3</sub>



Fonte: Cetesb (2016).

Numa pesquisa realizada por Stern *et al.* (2008) é estimado que a exposição a concentração mínima de 59 µgm<sup>-3</sup> de Ozônio num intervalo de tempo de 4 horas é suficiente para causar injurias visíveis em vegetais como o tabaco, legumes e orquídeas.

### 2.3 Impactos a Saúde: Alguns Estudos Envolvendo o Ozônio

Os efeitos causados pelo ozônio à saúde humana podem variar da morbidade até a mortalidade. Contudo, seus impactos passaram a ganhar maiores conotações após as elevadas concentrações detectadas em Los Angeles, na

Califórnia (PIMENTA, 2010). De acordo com a Organização Mundial da Saúde-OMS (2021), a saúde representa o bem-estar físico, mental e social.

Desde o conhecimento da nocividade do O<sub>3</sub>, estudos epidemiológicos e de séries temporais passaram a ser realizados com o intuito de entender o comportamento do poluente associado a problemas de saúde. De acordo com a EPA (2006), o grau com o que os sintomas causados pelo O<sub>3</sub> irão surgir dependerá, não somente das concentrações detectadas, mas também da suscetibilidade de cada indivíduo à exposição ao poluente. Para Braga *et. al.* (2001), “crianças, adolescente e idosos constituem as faixas etárias com maior risco de adquirir doenças provenientes da poluição atmosférica”.

Normalmente, as enfermidades causadas pelo ozônio estão associadas a problemas respiratórios, cardiovasculares e irritações. Segundo a Cetesb (2014), o surgimento de irritações nos olhos, vias respiratórias e o agravamento de doenças respiratórias preexistentes, como a asma, são as ocorrências mais relacionadas da exposição de seres humanos ao ozônio.

Na pesquisa realizada por Freitas *et. al.* (2016), foram tratados os dados referentes as concentrações de O<sub>3</sub> e o número de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, entre os anos de 2000 e 2006, no município de Vitória-Es. Mediante a análise dos resultados, foi verificado que embora a maior concentração de O<sub>3</sub> (119 µgm<sup>-3</sup>) não tenha ultrapassado o limite proposto pela Resolução CONAMA nº 03/90, as internações por doenças cardiovasculares estiveram associadas somente as suas variações. Comparando-se esse resultado de concentração de ozônio (119 µgm<sup>-3</sup>) com o valor limite estabelecido pela OMS (100 µgm<sup>-3</sup>) e pelo valor padrão final (PF) da atual Resolução CONAMA nº 491/2018, que substituiu a Resolução CONAMA 03/90, verifica-se uma violação dos limites estabelecidos.

No Brasil, um dos principais polos industriais está localizado na cidade de Cubatão, no estado de São Paulo. Entre os anos de 1970 e 1980, dado a existência do grande número de indústrias do setor petroquímico, siderúrgico e de fertilizantes, a cidade passou a ser considerada a mais poluída do mundo

(NARDOCCI *et. al.*, 2013). Ao relacionar os efeitos da poluição do ar com o número de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, foi observado na cidade de Cubatão que, entre os anos de 2003 e 2008, existiu uma correlação significativa dos níveis de O<sub>3</sub> com o número de doenças respiratórias em menores de 5 anos e doenças cardiovasculares em maiores de 39 anos (NARDOCCI *et. al.*, 2013).

O estudo realizado por Tuan *et al.* (2015) buscou associar a presença dos poluentes atmosféricos (CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub>) com internações por pneumonia em crianças. Foram analisados casos referentes a 539 admissões, no qual foi possível concluir que CO e O<sub>3</sub> foram os poluentes que acarretaram as internações de crianças com pneumonia e que o PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> não demonstraram nenhuma relação coerente.

É importante salientar que ozônio não é o responsável por todos os tipos de doenças respiratórias. Em alguns casos, o número de internações pode estar associado a outro tipo de poluente. Um exemplo a ser citado, ocorreu na cidade de São José dos Campos–SP, onde foi possível verificar que as internações por Asma ocorreram devido à presença dos poluentes SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> (AMÂNCIO e NASCIMENTO, 2012).

Outro caso ocorreu num estudo realizado com 118 crianças escolares no Complexo de Manginhos-RJ. Neste estudo buscou-se analisar a influência dos poluentes PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e CO na função respiratória. Foi concluído que o aumento dos níveis de concentração de PM<sub>10</sub> e o NO<sub>2</sub> estavam associados à diminuições na função respiratória e que, para este caso, as concentrações de CO, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> não demonstraram relação (CASTRO *et. al.*, 2009).

Em estudo realizado por Alves, Santos e Couto (2020), as concentrações de ozônio registradas, no período de 2017 a 2018, na área de influência do Polo Industrial de Camaçari não excederam o limite proposto pela Resolução CONAMA 491/2018. Quando os mesmos resultados de concentração de ozônio foram comparados como o padrão limite estabelecido pela Organização Mundial

de Saúde-WHO, foi identificado que a estação de Lamarão registrou concentrações de ozônio acima do valor permitido.

Couto (2011) relata que embora esse seja o principal caminho para formação do O<sub>3</sub>, a presença dos COVs pode ocasionar alterações no ciclo, onde ao incidir nas concentrações de NO e NO<sub>2</sub>, resultando no aumento dos níveis de O<sub>3</sub>. Para Francisco *et. al.* (2016), a desordem está associada à reatividade e quantidade de NO e NO<sub>2</sub> existente na atmosfera.

## 2.4 Monitoramento de Poluentes Atmosféricos e Índice de Qualidade do Ar

Quando associado a recursos ambientais, o termo monitorar remete o acompanhamento da qualidade ambiental, mediante a construção de uma base de dados que permita analisar a ação dos poluentes. De acordo com Couto (2011), o monitoramento da poluição atmosférica, nas suas diversas especificidades, fornece elementos construtivos para o entendimento do comportamento de determinadas espécies na atmosfera.

Acredita-se que um dos principais desafios do monitoramento de poluentes atmosféricos seja a identificação das fontes na qual as substâncias são lançadas. As influências dos fatores meteorológicos e topográficos fazem com o que muitas das vezes um poluente seja identificado longe da fonte emissora (ANTUNES *et. al.*, 2008). Uma maneira de suprir essa dificuldade, seja a implantação de estações de monitoramento da qualidade do ar em locais estratégicos, onde mediante a execução de estudos, estima-se que os poluentes sejam direcionados.

Um dos objetivos do monitoramento da poluição atmosférica consiste na divulgação das condições em que o ambiente se encontra. Com o intuito de facilitar as informações, busca-se a utilização de índices ambientais. Nesse sentido, o Índice da Qualidade do Ar (IQA<sub>r</sub>) desenvolvido pela EPA tem sido um instrumento bastante utilizado (LISBOA e KAWANO, 2007). Segundo Kiely (1996 APUD LISBOA e KAWANO, 2007, p. 8) a equação que descreve o IQA<sub>r</sub> pode ser descrita como:

$$\text{Índice} = \text{Índice}_{\text{inicial}} + \left( \frac{\text{Índice}_{\text{final}} - \text{Índice}_{\text{inicial}}}{\text{Conc.}_{\text{final}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}}} \right) \times (\text{Conc.}_{\text{medida}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}})$$

(8)

Onde:

Índice – índice de qualidade do ar desejado;

Conc. medida – concentração medida;

Conc. inicial – concentração inicial da faixa onde encontra-se a concentração medida;

Conc. final – concentração final da faixa onde encontra-se a concentração medida;

Índice inicial – valor do índice correspondente a Conc. Final;

Índice final - valor do índice correspondente a Conc. Inicial.

Ressalta-se que o IQAr é obtido através de funções lineares que descrevem os padrões da qualidade do ar para diversos poluentes, onde a relação entre o valor das concentrações e do índice calculado, resulta num número adimensional.

### 3. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido a partir de pesquisa bibliográfica visando o levantamento de dados e informações, sobre a formação do Ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico e principais impactos associados ao meio ambiente e à saúde humana, para compor uma revisão da literatura sintética e esclarecedora.

### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A dispersão e diluição dos poluentes dependem diretamente dos fatores meteorológicos. Para compreensão da concentração e o comportamento dos poluentes na atmosfera, devem-se destacar condições meteorológicas no local, as reações químicas e fotoquímicas ocorridas e também a topografia da região. Esses fatores influenciam na qualidade do ar em escala local, regional ou global.

Os fatores meteorológicos possuem grande influência na formação do O<sub>3</sub> e sua respectiva dispersão. Por não se tratar de um composto natural, o ozônio quando encontrado em grandes quantidades pode ser nocivo à saúde humana, causar danos à fauna, flora, animais e materiais.

A maior variedade de compostos químicos (compostos orgânicos, óxidos de nitrogênio, entre outros) encontrados no ar, que são emitidos pelas indústrias existentes em polos industriais e também as emissões veiculares, promove as reações fotoquímicas e tem como produto o ozônio troposférico.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, pode-se afirmar que as elevadas concentrações de poluentes atmosféricos, principalmente o ozônio, registradas através de monitoramento em áreas urbanas e sob influência industrial, têm acarretado uma série de impactos ao meio ambiente e à saúde humana.

Conforme apresentado nos textos e análises feitas anteriormente, faz-se necessário a realização do monitoramento dos níveis de ozônio troposférico, de forma continuada, visando obter dados que permita auxiliar nas tomadas de decisões destinadas à prevenção de poluição e mitigação de impactos associados.

A maior variedade de compostos químicos (compostos orgânicos, óxidos de nitrogênio, entre outros) encontrados na atmosfera, que são emitidos por diversas fontes fixas e móveis, promovem a formação do ozônio através de diversos mecanismos e reações fotoquímicas.

Diante da complexidade da química atmosférica e dos possíveis mecanismos que levam à formação do ozônio troposférico, considera-se extremamente relevante realizar estudos sobre prevenção de poluição e mitigação de emissões dos principais precursores do ozônio.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMÂNCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Asma e Poluentes Ambientais: um estudo de séries temporais. Revista da Associação Médica Brasileira, v.58, n. 3, p. 302-307, mai./jun. 2012.

ANTUNES, M. L. P.; AGUILAR, A. F.; CAMARGO, S. R. G. IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES PRECURSORAS DE OZÔNIO NA TROPOSFERA DE SOROCABA (S.P.). REA – Revista de Estudos Ambientais, Blumenau, v.10, n. 1, p. 33-39, jan./jun. 2008.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. Química Ambiental. 4ª ed. Editora Bookman. 2011.

BRAGA, A.; BÖHM, M. G.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. Poluição Atmosférica e Saúde Humana. Revista USP, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set./nov. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 03 de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1990.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491 de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2018.

CARNEIRO, Regina Maria Alves. Bioindicadores Vegetais de Poluição Atmosférica: Uma Contribuição para a Saúde da Comunidade. 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

CASTRO, H. A.; CUNHA, M. F.; AZEVEDO, G.; JUNGER, W. L.; LEON, A. P.; SILVA, M.; CRUZ, J. C. Effect of air pollution on lung function in schoolchildren in Rio de Janeiro, Brazil. Revista da Associação Médica Brasileira, v.43, n.1, p. 26-34, fev. 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Avaliação dos Níveis de Ozônio Troposférico (AOT40) com Referência a Proteção da Vegetação no Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2013/12/Relat%C3%B3rio-AOT40-online.pdf>>. Acesso em: 20 Maio 2018.

COUTO, E.R. TRANSFORMAÇÕES DE SO<sub>2</sub> E NO<sub>2</sub> NA ATMOSFERA DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PÓLO INDUSTRIAL DE CAMAÇARI. 2011. 273 f. Tese (Doutorado em Química) Universidade Federal da Bahia, Bahia.

DALLAROSA, Juliana Braga. Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos numéricos. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

FREITAS, C. U.; LEON, A. C. M. P.; JUNGER, W. L.; GOUVEIA, N. Poluição do ar e impactos na saúde em Vitória, Espírito Santo. Revista de Saúde Pública, v.50, n. 4, 2016.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba. Disponível em: <  
[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/Rel\\_anual\\_2010\\_v3.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/Rel_anual_2010_v3.pdf)>  
Acesso em: 4 Julho 2018.

KIELY, G. Environmental Engineering. Berkshire England. McGraw- Hill. 1996.

KLUMPP, A.; MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARELLA, W. Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais. (orgs.) Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações. São Paulo, p. 77-94, 2001.

LISBOA, H. M.; KAWANO, M. Monitoramento de Poluentes Atmosféricos. Montreal, 2007.

MAIOLI, O. L. G.; JANE, M. S.; JÚNIOR, N. C. R.; CASSINI, S. T. A. Parâmetros bioquímicos foliares das espécies *Licania tomentosa* (benth.) E *Bauhinia forficata* (link.) Para avaliação da qualidade do ar. Quim. Nova, Vol. 31, n. 8, p. 1925-1932, out. 2010.

MARTINS, R. A.; RODRIGUES, G. S. Efeitos Potenciais do Ozônio Troposférico sobre as Plantas Cultivadas e o Biomonitoramento Ambiental. Mudanças Climáticas Globais e a Agropecuária Brasileira. 2001. 397 p. Cap. 6, p. 143-165.

MARTINS, Leila D. Sensibilidade da formação de ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo. Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica, Ciências Atmosféricas. São Paulo. 2006.

NARDOCCI, A. C.; GOUVEIA, N. C.; FREITAS, C. U.; LEON, A. C. M. P.; JUNGER, W. L. *Air pollution and respiratory and cardiovascular diseases: a time series study in Cubatão, São Paulo State, Brazil*. Cadernos de Saúde Pública, v.29, n. 9, p. 1867-1876, set. 2013.

NETTO, F. D.; DAEMME, L. C.; PENTEADO, R.; BELTRÃO, V. C.; SILVA, V. C. B.; CORRÊA, S. M. FORMAÇÃO DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO: UMA REVISÃO DA LITERATURA. XXV Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, v. 4. 2017.

PIMENTA, Maria Antunes. Ozônio Troposférico – Os Efeitos na Saúde e no Meio Ambiente e Diretrizes para a Região de Belo Horizonte. 2010. 83 f. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PITS, B, J, F.; PITTS, J, N. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments and Applications*. San Diego, USA: Academic Press, 2000.

STERN, A. C.; BOUBER, R. W.; TURNER, D. B.; FOX. D. L. *Fundamentals of Air Pollution*. 4 ed., New York, USA: Academic Press, 2008.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. S. C. *Air pollutants and hospitalization due to pneumonia among children. An ecological time series study.* São Paulo Medical Journal, v.133, n. 5, p. 408-413, set./out. 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-EPA. *Air Quality criteria for ozone and related photochemical oxidants.*2006.

WITTIG, I. E.; ELIZABETH, A. A.; NAIDU, S. L.; KARNOSKY, D. F.; LONG, S. P. *Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: a quantitative meta-analysis.* *Global Change Biology*, v.15, p. 396-424, jul. 2008.