



EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE GUARULHOS, SÃO PAULO

Gustavo Filgueiras Pinheiro, Universidade Guarulhos, gustavofilgueiras383@gmail.com

Patricia Bulbovas Hueb, Universidade Guarulhos, pbulbovas@hotmail.com

Resumo

A qualidade do ar é a medida do nível de poluentes atmosféricos à qual a população está exposta. Quando a concentração de poluentes está acima do padrão estabelecido, eles afetam a saúde humana, a produtividade agrícola e os ecossistemas florestais. Compreender a evolução da contaminação atmosférica contribui para formulação de estudos e políticas públicas, atendendo setores da economia, saúde e meio ambiente. O objetivo do estudo foi avaliar as mudanças do uso e ocupação do solo no município de Guarulhos e suas consequências para a qualidade do ar, entre 2002 e 2022. Foram tomados dados meteorológicos e de poluentes de estações de monitoramento da CETESB, e confeccionados mapas para relacionar a evolução do uso do solo com as mudanças da poluição. Os resultados mostraram diminuição dos poluentes MP_{10} e SO_2 , possivelmente em consequência dos programas de controle e redução da poluição atmosférica. A concentração de $MP_{2,5}$ e óxidos de nitrogênio variou pouco, indicando que os programas de controle da poluição não afetaram a concentração desses poluentes, mas foi eficaz para evitar que aumentassem. O O_3 mostrou tendência de aumento, sendo importante ampliar estudos no município a seu respeito, uma vez que pode ocasionar efeitos negativos a vegetação e saúde humana.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, Qualidade do ar, Guarulhos.

1. Introdução

A qualidade do ar é uma medida do nível de poluentes atmosféricos à qual a população está exposta (CETESB, 2022; DE SIMONI et al., 2021). Entre os principais poluentes medidos na atmosfera e considerados na avaliação da qualidade do ar estão o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO_x) e materiais particulados com composição variada, incluindo compostos nitrogenados, sulfatados e metais pesados. Todos eles têm origem nos diferentes processos industriais e agrícolas, e na queima de combustíveis fósseis pelos veículos automotores (CETESB, 2022). Outros poluentes não emitidos diretamente pelas fontes, mas formados na atmosfera através de reações químicas mediadas pela luz, como o ozônio (O_3), também têm se destacado por suas crescentes concentrações (CETESB, 2022; CHIQUETO et al., 2019).

Na atualidade, há uma preocupação mundial em relação ao aumento da poluição atmosférica e seus efeitos sobre florestas, culturas agrícolas e áreas urbanas. No entanto, o estudo da poluição atmosférica ainda é um grande desafio para cidades e estados em todo território brasileiro. A compreensão de como ocorrem as mudanças no perfil de contaminação atmosférica

ao longo dos anos em centros urbanos, por meio de monitoramento e inventários de poluentes, contribui na formulação de estudos e políticas públicas que tratam do assunto, atendendo a setores como da economia, saúde e meio ambiente em áreas urbanas, rurais e de preservação da biodiversidade. Dessa forma, esforços nesse sentido contribuem para o avanço do conhecimento dessa temática.

O município de Guarulhos tem histórico de rápido e desordenado crescimento urbano, desencadeado principalmente pela construção de grandes rodovias, como a Presidente Dutra e Fernão Dias, também pela construção do aeroporto Internacional de Guarulhos, que levou ao aumento do número de habitantes, indústrias e tráfego de veículos automotores leves e pesados, os quais influenciam de forma considerável na qualidade do ar. Conhecer a evolução da cidade no que diz respeito aos aspectos apresentados, e sua relação com a poluição atmosférica, traz informações relevantes para o município de Guarulhos, que podem contribuir de forma importante para tomada de decisões realizadas por seus gestores. Também tem relevância à Ciência, uma vez que estudos dessa natureza são escassos no Brasil. Assim, o objetivo do presente estudo é avaliar as mudanças do uso e ocupação do solo no município de Guarulhos e suas consequências para a qualidade do ar, ao longo de 20 anos.

2. Fundamentação teórica

As mudanças de uso e ocupação do solo, em decorrência da implantação de industriais são responsáveis pelo desenvolvimento e expansão de centros de produção e consumo, e trazem consigo crescimento econômico e geração de renda. A distribuição das indústrias modela a morfologia do ambiente, e influencia o uso do solo em relação aos sistemas de transporte, atividades econômicas e formas de habitação, alterando a paisagem e fragmentando a cobertura florestal. No conjunto, essas mudanças de uso do solo aumentam a demanda por consumo de recursos naturais, e gera resíduos de diferentes naturezas, como os poluentes atmosféricos (SILVEIRA et al., 2021).

A poluição atmosférica pode ser definida como a existência na atmosfera de substâncias em quantidade capaz de alterar sua composição e equilíbrio, podendo ser prejudicial ao meio ambiente e as formas de vida, com consequências à saúde humana, fauna e flora. Também, pode causar degradação de bens culturais de lazer e de recursos naturais (DRUMM et al., 2014). Ela afeta negativamente a saúde humana, a produtividade agrícola, e os ecossistemas florestais.

A exposição humana aos poluentes atmosféricos pode causar doenças respiratórias e interferir nos mecanismos de defesa do organismo, e tem sido considerada a maior causa ambiental de doenças e mortes prematuras no mundo (DE SIMONI et al., 2021). Tais efeitos refletem na economia devido à queda de produtividade de trabalhadores e limitações para a aquisição de habilidades cognitivas relevantes para educação, elevando os custos com saúde pública e seguridade social (CHIQUETO et al., 2019; DE SIMONI et al., 2021).

Na agricultura os prejuízos econômicos se devem à perda de produtividade agrícola em virtude do alto poder oxidativo de alguns poluentes, como o ozônio, que provocam estresses bioquímicos e fisiológicos às plantas, prejudicando seu crescimento e produção (BULBOVAS et al., 2014; DE SIMONI et al., 2021).

Os efeitos dos poluentes atmosféricos sobre as florestas, muitos deles também provocados pelo estresse oxidativo, podem ser observados nos diferentes níveis de organização biológica, desde o celular até o nível de ecossistema. Dependendo da intensidade do estresse e sensibilidade das espécies, podem ocorrer mudanças na estrutura das populações e comunidades florestais, mudanças na relação de competição entre espécies e processos sucessionais, podendo ocorrer também redução da diversidade biológica, simplificação e degradação do ambiente (GOTTARDINI et al., 2014 e 2017).

O Brasil não dispõe de inventários nacionais completos das emissões de poluentes atmosféricos pelas diferentes fontes. No Estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) monitora a qualidade do ar e emite relatórios anuais. A CETESB foi criada no ano de 1968, com o objetivo de realizar análises de laboratório e efetuar estudos, ensaios, pesquisas e treinamento de pessoal no campo da engenharia sanitária, sendo um marco ambiental histórico para o Brasil, e a rede principal de monitoramento ambiental no Estado de São Paulo (CETESB, 2019).

O monitoramento da qualidade do ar no estado de São Paulo teve início com as atividades da Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA), no ano de 1972, que instalou na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) 14 estações de monitoramento da qualidade do ar. Os poluentes medidos eram aqueles que mais se destacavam na época, o dióxido de enxofre e as fumaças. As atividades da CICPAA, ainda no início da década de 1970, foram incorporadas pela Superintendência de Saneamento Ambiental – SUSAM, vinculada à Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo e, em 1975, transferidas à CETESB. A CETESB ampliou a rede de monitoramento em 1981, e a RMSP passou a ter 22 estações. Devido ao crescimento e industrialização nas cidades do interior, e acompanhando a expansão do setor sucroalcooleiro, a rede expandiu-se, abrangendo um número maior de regiões do estado (CETESB, 2019). Atualmente, a rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB dispõe de 86 estações entre fixas e manuais distribuídas em 42 municípios, atendendo 26,3 milhões de habitantes do estado, totalizando 57% da população do estado (CETESB, 2022). Os poluentes monitorados nas estações da CETESB são os internacionalmente reconhecidos como indicadores da qualidade do ar (partículas totais em suspensão, fumaça, material particulado, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e ozônio), devido sua maior ocorrência e do conhecimento dos seus efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente (CETESB, 2022).

Para compreender e interpretar o comportamento da poluição atmosférica, a tomada de dados meteorológicos é fundamental, pois os poluentes atmosféricos são fortemente influenciados pelas condições meteorológicas, que determinam sua dispersão e deposição. Assim, a rede de monitoramento da qualidade do ar em São Paulo também possui equipamentos para realizar medidas meteorológicas (CETESB 2019, 2022).



3. Metodologia

3.1. Local de estudo

O município de Guarulhos está localizado na porção norte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e cobre uma área de 318.675 km², dos quais, 144,49 km² se encontra inserido em área rural. Guarulhos é a segunda cidade mais populosa do estado de São Paulo, com número estimado de 1.291.784 habitantes. Sua população está concentrada, quase que totalmente em área urbana (IBGE, 2022).

A região na qual o município está inserido apresenta domínio climático mesotérmico brando úmido, com inverno seco e verão chuvoso, com influência de frentes frias da Antártica e de umidade proveniente do Oceano Atlântico. A temperatura média anual está entre 18°C e 19°C, sendo a média do mês mais frio inferior a 15°C e a dos meses de verão entre 23°C e 24°C. O índice pluviométrico está entre 1.250 e 1.500 mm/ano (ANDRADE et al., 2008).

Guarulhos está localizado no Domínio Atlântico e, semelhantemente a outros municípios pertencentes a este Domínio, tem histórico de degradação do bioma Mata Atlântica desde sua colonização. Tal processo foi intensificado pela expansão urbana impulsionada, principalmente, pelo desenvolvimento industrial decorrente da implantação de importante malha viária na região, além da construção e ampliação do maior aeroporto da América Latina. (ANDRADE; OLIVEIRA, 2008, DUARTE et al., 2020).

3.2. Caracterização meteorológica, da qualidade do ar e do uso e ocupação do solo

Para avaliar qualidade do ar, nos últimos 20 anos, no município de Guarulhos, foram tomados dados secundários de temperatura, umidade relativa, concentração dos poluentes gasosos ozônio, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, e de poluentes com partículas nas dimensões de tamanho de até 2,5µm e até 10µm, de estações de monitoramento da CETESB presentes nos Bairros Bom Clima, Pimentas e CECAP. Com os dados desses parâmetros foram realizadas análise estatística descritiva e gráficos.

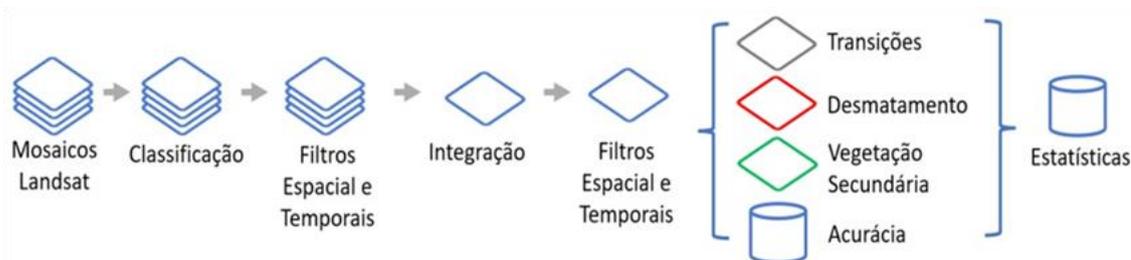
Os dados de poluição atmosférica, bem como os meteorológicos, foram adquiridos no site da CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar>) e colocados em planilhas. Após este processo, foi calculada a concentração média mensal de cada ano, não incluindo os dias ou anos em que não houve medições. Também foram calculadas médias trimestrais correspondentes aos meses das estações climáticas (verão, outono, inverno e primavera). Os gráficos foram feitos utilizando o valor médio de cada poluente em determinado para cada estação climática, de cada o ano de estudo, através do programa Microsoft Excel.

Os mapas de uso e ocupação do solo foram obtidos na Plataforma MapBiomas (<https://mapbiomas.org>). O MapBiomas é uma rede colaborativa de mapeamento anual do uso e cobertura da terra no Brasil. Os mapas são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélite Landsat. Todo o processo é feito com extensivos algoritmos de *machine*



learning através a plataforma Google Earth Engine. As principais etapas do processo de geração dos mapas estão descritas na figura 1.

Figura 1. Etapas realizadas pela equipe do Programa MapBiomass para confecção de mapas anuais de cobertura e uso da terra no Brasil.



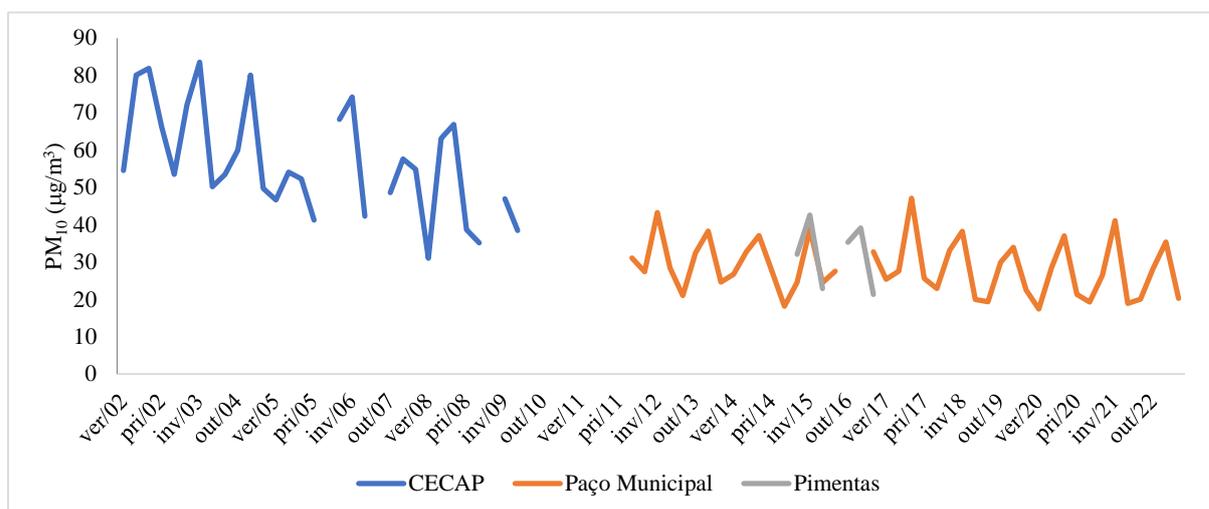
4. Resultados

O monitoramento da poluição atmosférica no município de Guarulhos teve início no ano de 1981, com a instalação da estação da CETESB no bairro CECAP, medindo os poluentes SO_2 e MP_{10} . Em 1995, a medida de SO_2 na estação CECAP foi suspensa, sendo novamente ativada em 2006. A medição deste poluente durou até 2009, quando a estação CECAP teve suas atividades encerradas. Em 2012, a CETESB retomou o monitoramento da qualidade do ar no município de Guarulhos, instalando uma estação de monitoramento no Bairro Bom Clima, onde fica o Paço Municipal da cidade. Esta estação tem escala de representatividade espacial urbana, ou seja, ela representa cidades ou regiões metropolitanas da ordem de 4 a 50 km, cobrindo assim, boa parte do município. Na estação do Paço Municipal são medidos os poluentes MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_2 e O_3 . Em 2015, uma nova estação do monitoramento da qualidade do ar foi estabelecida em Guarulhos, no Bairro Pimentas, uma das regiões mais populosas do município e próxima ao Aeroporto Internacional de Guarulhos. A escala de representatividade espacial dessa estação é de bairro, ou seja, representa bairros urbanos com atividade uniforme e dimensões entre 501 e 4000 metros. Os poluentes medidos no Pimentas são CO , MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_2 , O_3 e SO_2 (CETESB, 2022).

Material particulado é a nomeação geral dada às partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP_{10}), partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) e fumaça (FMC). A definição também considera que ele é uma mistura heterogênea de partículas poluentes na forma líquida e sólida em suspensão no ar (CETESB, 2022). O material particulado é emitido, principalmente, por queima de biomassa e de combustíveis fósseis. Essas fontes podem representar até 96% do total emitido para atmosfera (MMA, 2014). Em Guarulhos foram avaliadas as partículas inaláveis (MP_{10}) e partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$). Entre os anos de 2002 e 2022, o MP_{10} foi medido no município até 2009 no CECAP e passou a ser mensurado nas estações Paço Municipal, a partir de 2012, e Pimentas, a partir de 2015 (Figura 2). Observando os valores de MP_{10} neste

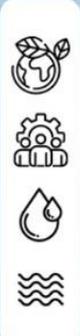
período, observa-se que este poluente teve queda de sua concentração entre os anos avaliados, apesar do aumento populacional e da circulação de veículos automotores no município de Guarulhos.

Figura 2. Concentração média de PM_{10} nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os de 2002 a 2022.



As medidas de $PM_{2.5}$ no município de Guarulhos tiveram início no ano de 2015 com a instalação da estação de monitoramento da CETESB no Bairro Pimentas. No ano de 2017 ele também passou a ser medido no Paço Municipal (Figura 3). Este poluente apresenta concentração média constante ao longo dos anos de estudo, mostrando apenas uma queda mais expressiva na primavera de 2015. A estação Pimentas apresentou maiores médias de $PM_{2.5}$ até o ano de 2020, posteriormente, passou a ter valores semelhantes aos medidos no Paço Municipal.

O SO_2 é um gás incolor, com odor característico. É um dos poluentes relacionados com a queima de combustíveis, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. Na atmosfera ele é facilmente oxidado à SO_3 , dando origem ao ácido sulfúrico (H_2SO_3), quando combinado com a água, sendo um dos componentes da chuva ácida (SILVA; VIEIRA, 2017). No período estudado, foi medido no município entre 2006 e 2009 na estação CECAP (Figura 4), e passou por um período de seis anos sem nenhuma medição, retornando a ser mensurado em 2015 com a instalação da estação Pimentas. Em 2008, sua concentração apresentou um forte crescimento, apresentando queda no ano seguinte. A partir de 2015, quando volta a ser monitorado no município, apresenta valores médios reduzidos, mostrando maiores médias no inverno de 2017 e 2022. Considerando que o município de Guarulhos tem grande circulação de veículos automotores pesados, que utilizam diesel como combustível, essa queda na concentração de SO_2 , a partir do ano de 2015, pode estar relacionada a mudança na qualidade do diesel



IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO
TOTALMENTE ONLINE

Realização:




Apoio:




produzido e comercializado no país, o qual, quando sofre a queima, emite menor quantidade de óxidos de enxofre para atmosfera (CETESB 2022).

Figura 3. Concentração média de $PM_{2,5}$ nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os anos de 2015 e 2022

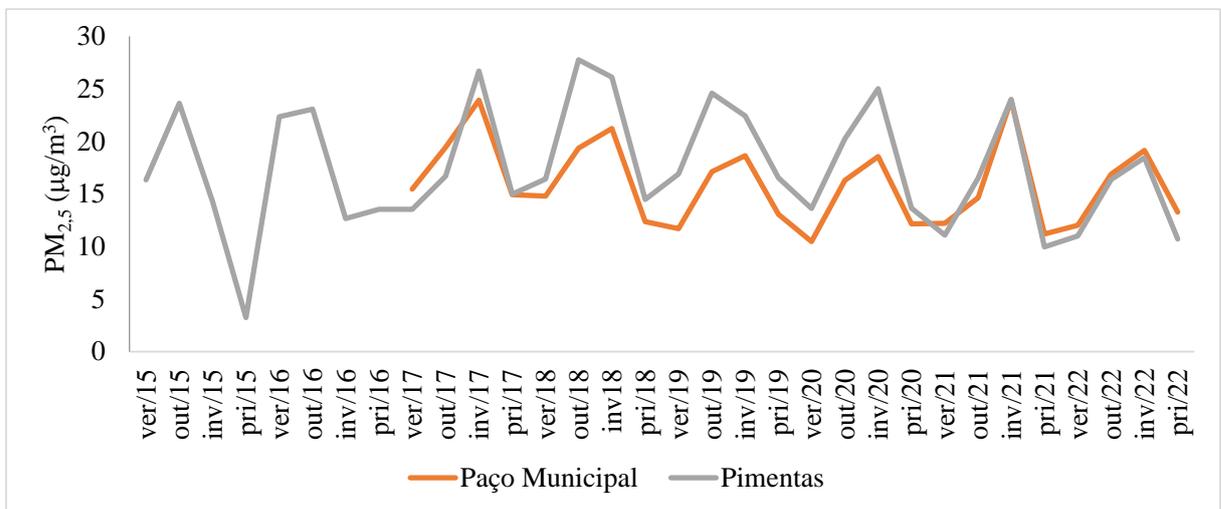
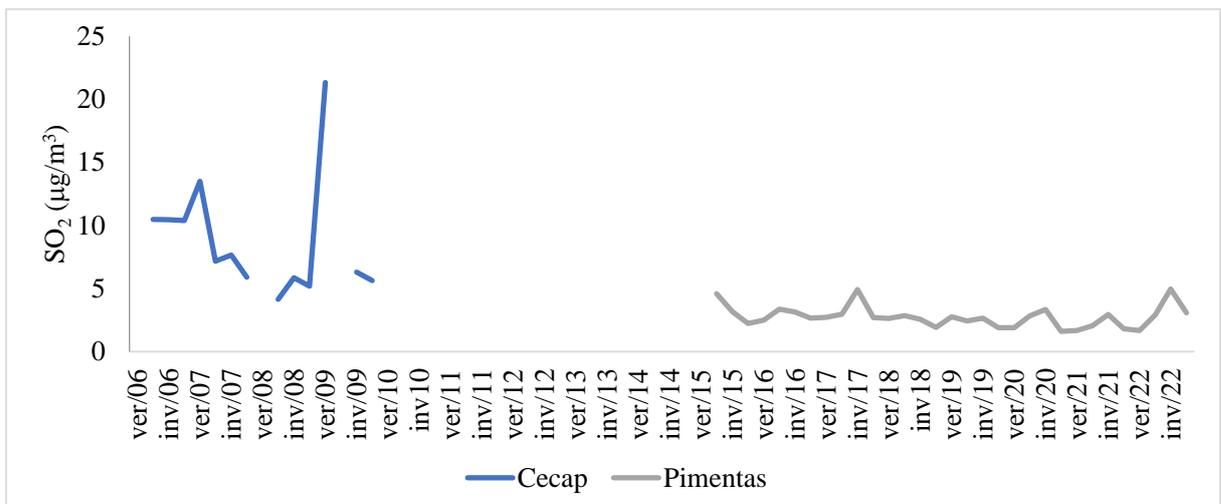
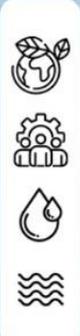


Figura 4. Concentração média de SO_2 nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os anos de 2006 e 2022





IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

**EVENTO
GRATUITO
TOTALMENTE
ONLINE**

Realização:

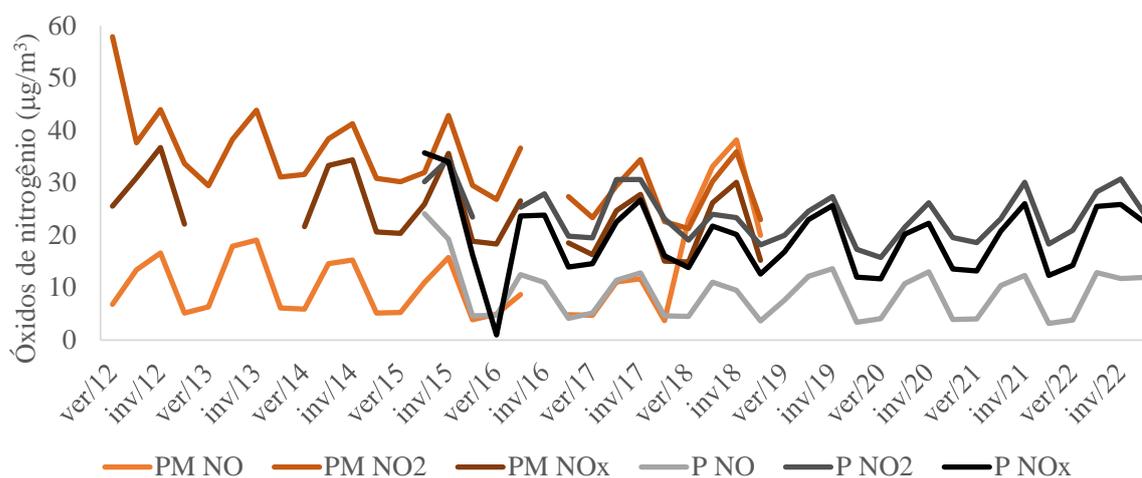


Apoio:



O nitrogênio é o principal gás que compõe a troposfera, camada da atmosfera mais próxima da superfície terrestre. Constituindo cerca de 72% da troposfera, é um gás extremamente importante para a vida no planeta, compondo as bases nitrogenadas que dão origem ao DNA e, com o auxílio de bactérias, desempenha um dos mais importantes ciclos biogeoquímicos do planeta, o ciclo do nitrogênio (CÓNSUL, et. al., 2014). Este elemento compõe diferentes formas oxidadas de nitrogênio na atmosfera. Os óxidos de nitrogênio (NO, NO₂ e NO_x) também são produzidos em grande quantidade pela queima de combustíveis fósseis. Na cidade de Guarulhos, eles começaram a ser medidos em 2012 na estação de monitoramento Paço Municipal, e em 2015 no Pimentas (Figura 5). O óxido nítrico (NO) mostrou pouca variação ao longo do tempo de estudo, em ambas as estações, apresentando apenas aumento no inverno de 2018 no Paço Municipal. O dióxido de nitrogênio (NO₂) apresentou redução de sua concentração ao longo dos anos dos anos estudados. Já o NO_x, que junto a compostos orgânicos voláteis (COV) provoca uma reação na baixa atmosfera conhecida como *smog* fotoquímico (GROSJEAN; GROSJEAN, 1998), também teve pouca variação da sua concentração ao longo dos anos de estudo, exceto no verão de 2016, onde apresentou forte queda.

Figura 5. Concentração média de NO, NO₂ e NO_x nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os anos de 2012 e 2022

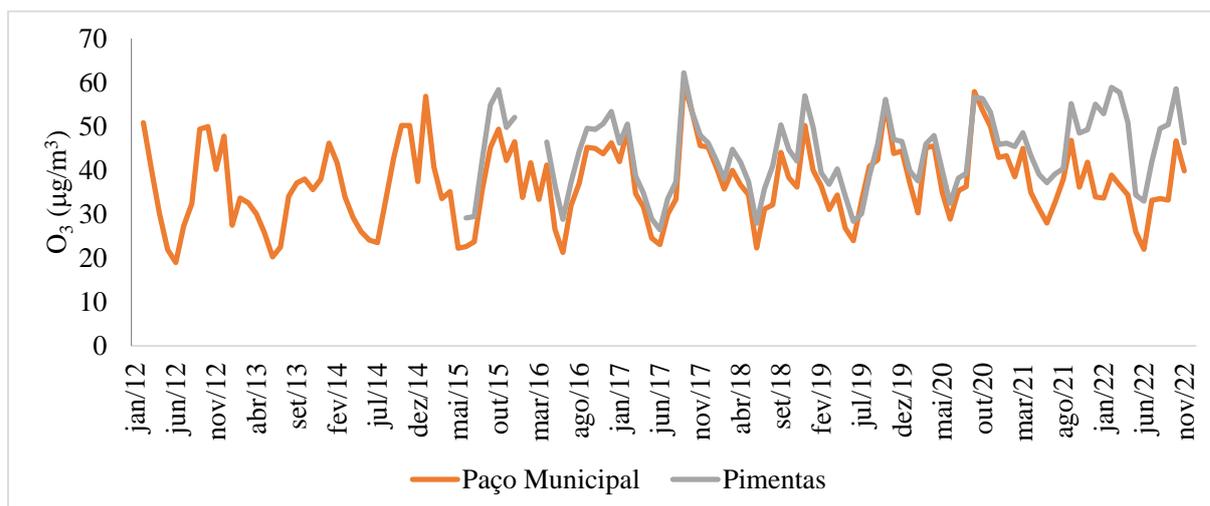


O O₃ é um gás incolor e inodoro, quando em concentrações ambientais. Ele é encontrado naturalmente tanto na troposfera quanto na estratosfera. Na troposfera, é produzido fotoquimicamente por reações entre compostos naturais da atmosfera e outros poluentes. O aumento de suas concentrações está relacionado à emissão de poluentes como metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (COVs). Na estratosfera, o O₃ tem o papel de filtrar os raios ultravioleta, enquanto na troposfera ele exerce



efeitos nocivos sobre os organismos vivos devido ao seu forte potencial oxidante (ASSIS; MORAES; NAKAZATO, 2018; BORTOLIN et al., 2014). Em Guarulhos este poluente começou a ser medido em 2012 na estação Paço Municipal, e em 2015 no Pimentas (Figura 6). Apresentou discreto aumento no período de estudo, em especial no Pimentas, que mostrou os maiores valores da concentração desse poluente.

Figura 6. Concentração média de O_3 nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os anos de 2012 e 2022



A concentração dos poluentes na atmosfera é fortemente influenciada pelas condições meteorológicas. Os poluentes particulados (MP_{10} e $MP_{2,5}$), o SO_2 e os óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 e NO_x) são classificados como poluentes primários, ou seja, são aqueles emitidos diretamente da fonte para atmosfera, como os lançados pelo escapamento de veículos automotores, chaminés de fábricas, entre outras fontes, sendo a maioria deles gerados por atividades humanas. Esses poluentes concentram-se em maior quantidade na atmosfera nos períodos de outono e inverno, quando as condições meteorológicas dificultam sua dispersão, explicando as maiores concentrações de MP_{10} , $MP_{2,5}$, SO_2 e óxidos de nitrogênio obtidas para as estações de outono e inverno (DE SIMONI et al., 2021; CETESB, 2022). Nestas estações problemas de saúde relacionados a poluição são observados. Devido ao tamanho da partícula, o $MP_{2,5}$ apresenta maior risco a saúde. De acordo com Yanagi et al. (2012), partículas ultrafinas oriundas da queima de combustível, principalmente o diesel, afetam o sistema respiratório e acarreta crises de bronquite, asma e doenças alérgicas. Isto é facilitado porque tais partículas, devido ao seu pequeno tamanho, conseguem atingir os pulmões, provocando lesões nos alvéolos e bronquíolos.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS

WORKSHOP INTERNACIONAL

Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos

de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:

Apoio:

O O₃ apresenta, ao longo do ano, uma distribuição totalmente distinta dos poluentes primários, uma vez que, como dito anteriormente, é formado na atmosfera por meio de reações fotoquímicas que dependem da incidência de radiação solar, dentre outros fatores (DE SIMONI et al., 2021). A ocorrência de maior concentração de O₃ está associada, principalmente, a dias com altas temperaturas e alta incidência de radiação solar (CETESB, 2022). Assim, as maiores concentrações de O₃ são observadas no período de primavera e verão, como também mostrado no presente estudo. O ozônio, pelo fato de ser um forte oxidante e alcançar as vias aéreas profundas, como o MP_{2,5}, provoca aumento de sintomas de asma e outras doenças respiratórias e pulmonares, como bronquites (TOLEDO et al., 2011)

Visto que a concentração dos poluentes na atmosfera é fortemente influenciada por fenômenos meteorológicos, dados de temperatura e umidade relativa também foram obtidos das estações de monitoramento da CESTEB presentes em Guarulhos, para o período estudado. No município a temperatura e umidade relativa começaram a ser monitoradas a partir de 2012 (Figura 7 e 8). A temperatura apresentou médias que pouco variaram até 2019. (Figura 7). A umidade relativa também mostrou valores semelhantes ao longo dos anos em ambas as estações de monitoramento, exceto na primavera de 2012 e outono e inverno de 2020 (Figura 8).

Figura 7. Temperatura média nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os anos de 2012 e 2022

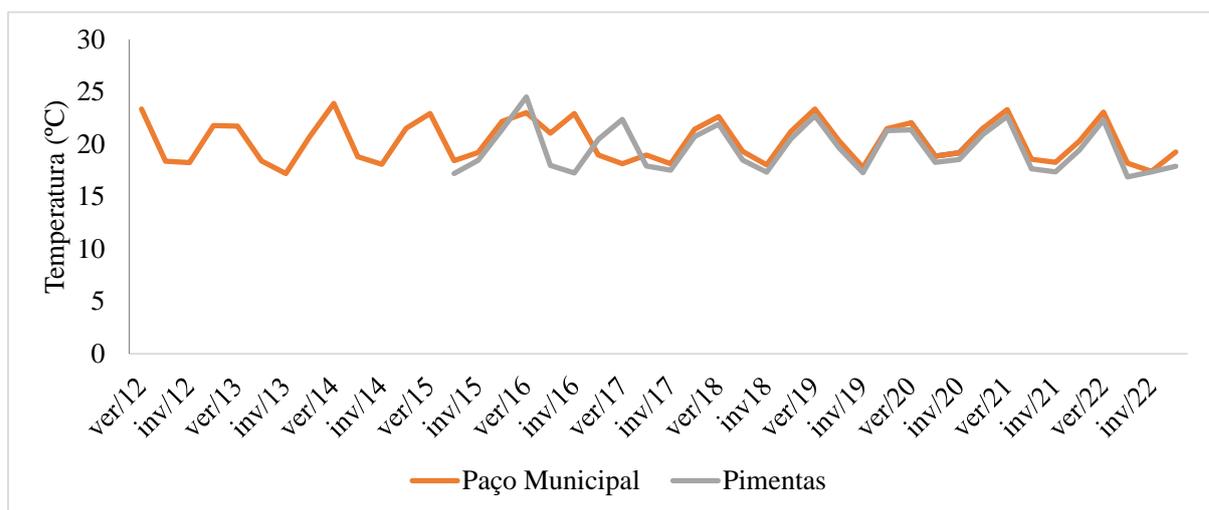
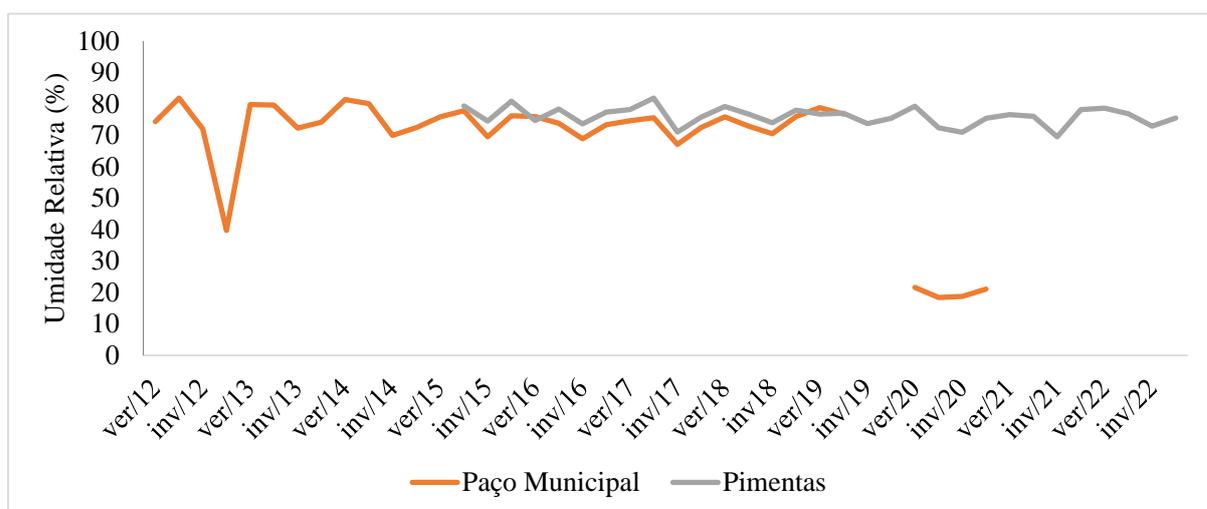




Figura 8. Umidade relativa média nas estações climáticas verão, outono, inverno e primavera, no município de Guarulhos, entre os anos de 2012 e 2022.



Para avaliar as mudanças do uso e ocupação do solo no município de Guarulhos foram construídos mapas dos anos 2002 e 2022 (Figura 9). Os mapas mostram uma grande urbanização da região sul do município, onde se encontra o centro da cidade, os bairros residenciais e comerciais, a área industrializada, o aeroporto de Guarulhos, como também os bairros Pimentas, Bom Clima e CECAP, onde as estações de monitoramento da qualidade do ar utilizadas neste estudo estão localizadas. No período entre 2002 e 2022, observa-se que a urbanização aumenta na porção sul, próxima a várzea do Rio Tietê. No entanto, na proximidade do rio observa-se a presença de vegetação. É nesta região que está localizada a porção guarulhense do Parque Várzeas do Tietê.

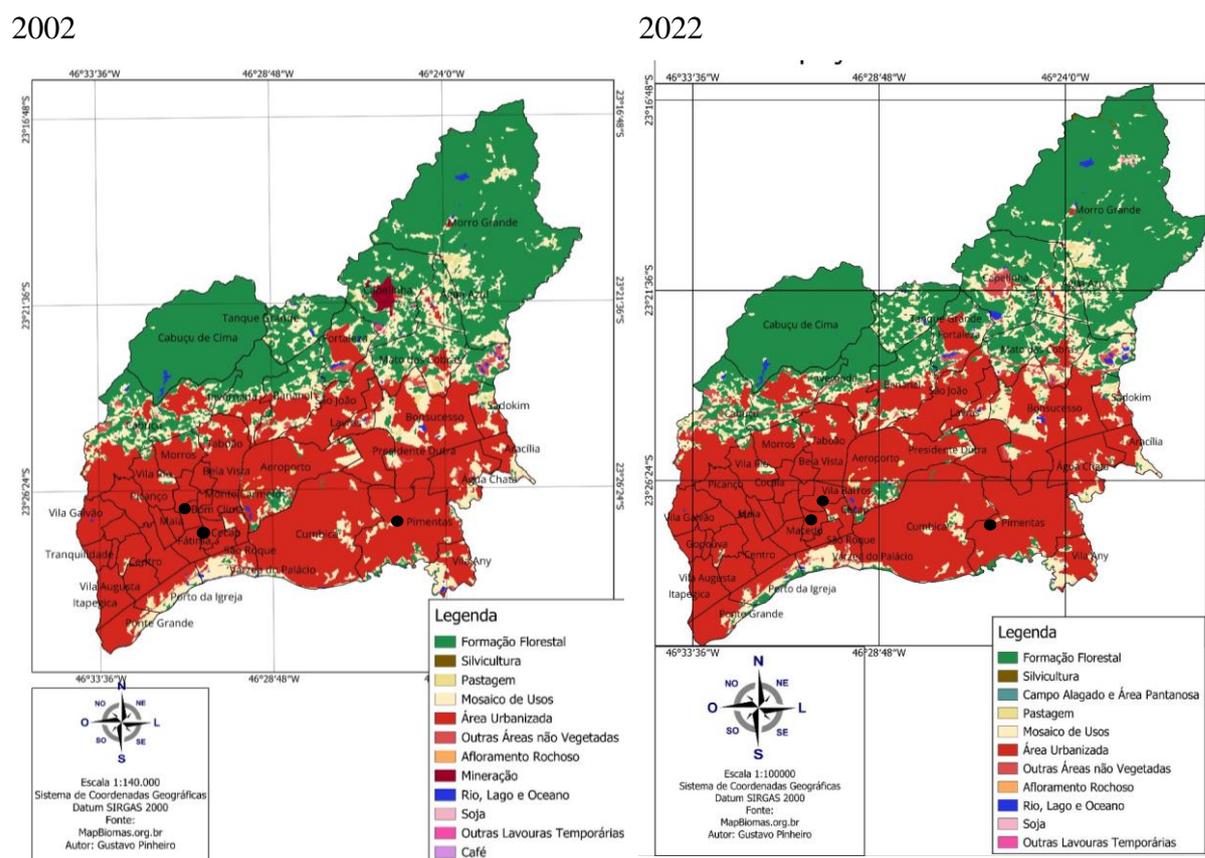
Partes destinadas à atividade agropecuária tiveram reduções em algumas regiões próximas aos bairros Cabuçu e Morro Grande, dando espaço à floresta (região norte do município). Nesta região situa-se a APA Cabuçu Tanque Grande, criada no ano de 2010. Apesar de ser um Unidade de Conservação de Uso Sustentável, desde sua implementação, esforços têm sido concentrados para que a área tenha menor ocupação antrópica.

De um modo geral, observa-se que a urbanização do município aumentou nos últimos anos, como claramente mostrado pelo mapa na região do bairro São João, por exemplo. Também, houve aumento de áreas destinadas à agropecuária, na porção nordeste do município, bem representado pela região do bairro Capelinha. No entanto, essa expansão do município não acompanhou o crescimento populacional observado nos últimos anos. Guarulhos é uma das cidades brasileiras que apresentou forte crescimento de sua população nas últimas décadas. No ano 2000 tinha uma população de 1.072.717 habitantes. Em 2022, dados do IBGE mostraram



que este número saltou para 1.291.784 habitantes. Além do crescimento do número de habitantes na cidade, também se observou que a densidade demográfica aumentou. Em 2010 era de 3.834 hab/Km², e em 2022 passou para 4.053 hab/Km². Dessa forma, entende-se que o crescimento populacional de Guarulhos não necessariamente implicou em forte expansão da área urbana, uma vez que há mais pessoas habitando no mesmo espaço, explicando a baixa redução da área vegetada do município entre os anos de 2002 e 2022 (ATIQUÊ, F.; BURATTINI, G.; DIAS, M. 2016).

Figura 9. Mapa do uso e ocupação do solo do município de Guarulhos nos anos de 2002 e 2022. (●) indica bairros onde da localização das estações de monitoramento.



Guarulhos é detentor de um parque industrial formado por mais de 4.000 indústrias, e concentra cerca 17.500 estabelecimentos comerciais, e mais de 40 mil empresas prestadoras de serviços (ATIQUÊ; BURATTINI; DIAS, 2016). Todas essas atividades econômicas geram na região grande circulação de pessoas, bens e produtos, movidos por veículos automotores que emitem grande quantidade de poluentes para atmosfera. Ainda, a cidade conta com a presença



de grandes rodovias (Presidente Dutra e Fernão Dias) e o maior aeroporto do país, que reafirmam a grande circulação de carros e caminhões na região. Mesmo assim, os resultados mostram que, ao longo dos anos estudados, o município de Guarulhos apresentou redução da concentração de alguns poluentes monitorados, como MP_{10} e SO_2 . Outros tiveram concentrações médias relativamente semelhantes entre os anos estudados, como o $MP_{2,5}$ e os óxidos de nitrogênio. Em parte, estes resultados são respostas aos esforços para redução da poluição atmosférica no estado de São Paulo. Uma delas é o Programa de Controle da Poluição Industrial (PROCOP), criado em 1980, com a finalidade apoiar a execução de projetos relacionados ao controle, preservação e melhoria das condições do meio ambiente no estado. Este programa corroborou com o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PRONCOVE), cujo objetivo foi reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores, visando o atendimento dos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos. Ainda, o PRONCOVE propôs a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos postos à disposição dos veículos automotores, visando à redução de emissões de poluentes (CETESB, 2019). Uma dessas melhorias ocorreu com o diesel utilizado com combustível, que hoje carrega menos enxofre em sua composição (CETESB, 2022).

O O_3 foi o único poluente estudado que mostrou tendência de aumento de suas concentrações. Apesar dessa tendência ter-se mostrado discreta, em estudo de biomonitoramento da qualidade do ar realizado em áreas urbanizadas do município de Guarulhos, incluso no Bairro Bom Clima, onde se encontra o Paço Municipal, Sousa, Oliveira e Bulbovas (2021) encontraram plantas com sintomas foliares visíveis causados por O_3 , ou seja, a concentração desse poluente chega a valores que podem causar algum efeito a organismos vivos. O O_3 é um poluente de difícil controle, uma vez que é formado na atmosfera por reações complexas, além de uma intrincada combinação de fatores meteorológicos.

Vale ressaltar que, apesar de apenas o O_3 ter apresentado tendência de aumento de suas concentrações, durante o período estudado houve momentos que a qualidade do ar no município de Guarulhos foi considerada como ruim ou muito ruim. Isso mostra que há períodos em que a poluição atinge valores que influenciam de forma significativa a saúde da população, colocando em risco, principalmente, pessoas que apresentam doenças cardiorrespiratórias (CESTEB, 2022).

5. Conclusões

A história do desenvolvimento e crescimento do município de Guarulhos mostra que ao longo do tempo ele atraiu plantas industriais, principalmente devido a instalação de rodovias e da ocupação do espaço aéreo, e, conseqüentemente, atraiu trabalhadores, bem como muitos moradores, os quais povoaram e ainda continuam a chegar na cidade. Tais características do município propiciam a emissão de poluentes para atmosfera. Avaliando as mudanças do uso e ocupação do solo em Guarulhos, conclui-se que, apesar do aumento de habitantes no município, não houve grande expansão da área urbanizada. Relacionando essas mudanças com a qualidade



do ar nos últimos 20 anos, observou-se que poluentes como MP₁₀ e SO₂ tiveram redução de sua concentração, possivelmente em consequência dos programas de controle e redução da poluição atmosférica criados em nível estadual e federal. Também mostrou que a concentração de poluentes como o MP_{2,5} e os óxidos de nitrogênio variou pouco no período estudado, indicando que os programas de redução da poluição atmosférica não foram suficientes para diminuir a concentração desses poluentes, mas foi eficaz para evitar que sua concentração se elevasse. Por fim, o O₃ foi o único poluente estudado que mostrou tendência de aumento de sua concentração, sendo importante ampliar estudos no município a respeito deste poluente, uma vez que é conhecido seus efeitos negativos a vegetação e saúde humana.

6. Agradecimentos (quando houver)

Os autores agradecem a Universidade Guarulhos pelo apoio ao desenvolvimento deste estudo por meio da Bolsa de Iniciação Científica concedida ao primeiro autor.

7. Referências bibliográficas

ANDRADE, *et al.* Expansão Urbana e Problemas Geoambientais do Uso do Solo em Guarulhos. In: OMAR, E. E. H. (Ed.). **Guarulhos tem História: Questões sobre história natural, social e cultural.** Ananda Gráfica e Editora, São Paulo, 2008, p. 47-55.

ATIQUÊ, F.; BURATTINI, G.; DIAS, M. Urbanização, Transformações Espaciais e Pressupostos para Leitura Patrimonial em Guarulhos. **R. Museu Arq. Etn.**, 26: 115-150, 2016.

BARBOSA DE SOUZA, Beatriz. **Ocupação do território paulista e seus efeitos à saúde, meio ambiente e economia.** 18 p. Dissertação de Mestrado — Universidade Guarulhos, Guarulhos.

BULBOVAS, P. *et al.* Assessment of the ozone tolerance of two soybean cultivars (Glycine max cv. Sambaíba and Tracajá) cultivated in Amazonian Areas. **Environ Sci Pollut Res**, v. 21, p. 10514-10524, 2014. DOI: 10.1007/s11356-014-2934-4.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Qualidade do ar no Estado de São Paulo: série relatórios.** CETESB, São Paulo. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>.

CHIQUETTO, J. B. *et al.* Air Quality Standards and Extreme Ozone Events in the São Paulo Megacity. **Sustainability**, v. 11, p. 3725, 2019. DOI: 10.3390/su11133725.

CHIQUETTO, J. B. *et al.* Air Quality Standards and Extreme Ozone Events in the São Paulo Megacity. **Sustainability**, v. 11, p. 3725, 2019. DOI: 10.3390/su11133725.

DA SILVA, Alexandre Fernando; VIEIRA, Carlos Alexandre. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. *Ciência e Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 166, 29 jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.33809/2447-4606.312017166-189>. Acesso em: 04 mar. 2023.

DE SIMONI, W. et al. **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil**. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil, 2021. Disponível online em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>.

DUARTE, R. C. *et al.* Characterizing urban forest remnants in Guarulhos county/SP. *Pesquisas, Botânica*, v. 74, p. 147-166, 2020. Disponível em: <http://www.anchietano.unisinos.br/publicacoes/botanica/botanica.htm>.

GOTTARDINI, E. *et al.* Ozone risk and foliar injury on *Viburnum lantana* L.: A meso-scale epidemiological study. *Science of the Total Environment*, v. 493, p. 954-960, 2014.

GOTTARDINI, E.; CRISTOFOLINI, F.; FERRETTI, M. Foliar symptoms on *Viburnum lantana* reflect annual changes in summer ozone concentration in Trentino (northern Italy). *Ecological Indicators*, v. 78, p. 26-30, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados. Censo Guarulhos 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidades/guarulhos>. Acesso em 30 de abril de 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guarulhos/panorama>. Acesso em: 26 mar. 2023.

GROSJEAN, E.; GROSJEAN, D. Formation of Ozone in Urban Air by Photochemical Oxidation of Hydrocarbons: Captive Air Experiments in Porto Alegre, RS. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 1998, vol. 09, no. 2, p. 131-143.

Observatório Guarulhos. **Guarulhos** Disponível em: <https://observatorio.guarulhos.sp.gov.br/content/guarulhos>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SATO, Sandra Emi et al. Estudo de Urbanização em Áreas de Risco a Escorregamentos nos Loteamentos do Recreio São Jorge e Novo Recreio, Região do Cabuçu, Guarulhos (SP), Brasil. *Paisagem e Ambiente*, n. 29, p. 57, 8 out. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i29p57-82>. Acesso em 16 set. 2023.

ROMARO, Maria Cristina. **Os aeroportos de Guarulhos e de Viracopos**: análise crítica de planejamento e projeto. 2007. Universidade Presbiteriana Mackenzie, [s. l.], 2007. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/2605>. Acesso em: 22 out. 2023.

SOUSA, Beatriz Barbosa de ; OLIVEIRA, Suelen Santini de; BULBOVAS, Patricia. Sintomas foliares visíveis induzidos por ozônio em vegetação urbana do município de Guarulhos, SP. *Revista Princípios*, 56, p. 11-21.