

CONCENTRAÇÕES DE AMÔNIA NA ATMOSFERA DO MUNICÍPIO
DE SÃO PAULO



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO



Governo do Estado de São Paulo
Tarcísio de Freitas - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística
Natália Resende - Secretária de Estado

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Thomaz Miazaki de Toledo - Diretor-Presidente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretoria de Gestão Corporativa e Sustentabilidade
Liv Nakashima Costa - Diretora

Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental
Adriano Rafael Arrepia de Queiroz - Diretor

Diretoria de Qualidade Ambiental
Liv Nakashima Costa - Diretora

Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental
Mayla Matsuzaki Fukushima - Diretora



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS

CONCENTRAÇÕES DE AMÔNIA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

São Paulo ▪ 2025

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418c CETESB (São Paulo)
Concentrações de amônia no município de São Paulo [recurso eletrônico] /
CETESB ; Elaboração Caroline Scaramboni, Cristiane F. Fernandes Lopes ;
Coordenação técnica Cristiane F. Fernandes Lopes ; Equipe de trabalho Caroline
Scaramboni ... [et al.]. – São Paulo : CETESB, 2025.
1 arquivo de texto (26 p.) : il. color., PDF ; 2 MB

Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>.
ISBN 978-65-5577-102-2

1. Amônia 2. Ar – qualidade – controle 3. Ar – poluição 4. São Paulo (SP) I. Título.

CDD (21.ed. Esp.) 363.739 263 816 1 CDU (2.ed. Port.) 502.175:614.71/.72 (815.6)
628.53 816 1 614.71:546.171.1 (815.6)
546.711 0286 816 1

Catalogação na fonte: Margot Terada – CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB 2025.
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Ficha Técnica

Diretoria de Qualidade Ambiental

Liv Nakashima Costa

Departamento de Qualidade Ambiental

Maria Helena R. B. Martins

Divisão de Qualidade do Ar

Maria Lúcia Gonçalves Guardani

Setor de Amostragem e Análise do Ar

Cristiane F. Fernandes Lopes

Elaboração

Caroline Scaramboni

Cristiane F. Fernandes Lopes (**Coordenação Técnica**)

Equipe de Trabalho

Caroline Scaramboni

Daniele P. R. de Carvalho

Giacomo C. Grizzo Cuoco

Graziela Mônaco Locchi

Jesuíno Romano

Nelson Álamo Filho

Sheila de Castro

Viviane A. de Oliveira Ferreira

Capa

Vera Severo

Produção Editorial e Distribuição

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros

São Paulo - SP - Brasil - 05459-900

Telefone: +55 11 3133.3000

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

© CETESB 2025

Direitos reservados de distribuição

É permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.

Resumo

A amônia (NH_3) é um gás alcalino presente na atmosfera, proveniente de diversas fontes, como atividades agrícolas, processos biológicos, emissões industriais e veiculares. Na atmosfera, a NH_3 reage com espécies ácidas, resultando na formação de material particulado (MP) secundário. Além de seu papel na química atmosférica e na formação de MP, a NH_3 também pode afetar diretamente a saúde humana. Diante disso, surgiu a preocupação de que os sistemas de tratamento dos gases veiculares possam estar liberando NH_3 como subproduto das reações de redução catalítica de NO_x para N_2 , contribuindo para o aumento de NH_3 na atmosfera. A CETESB realizou, de 2012 a 2014, o monitoramento da NH_3 na estação Pinheiros no município de São Paulo, e verificou que o tráfego de veículos, importante fonte de poluentes na cidade, não foi a única fonte de NH_3 para atmosfera, e levantou a possibilidade da emissão oriunda de degradação biológica no Rio Pinheiros. O objetivo do presente estudo foi determinar novamente a concentração de NH_3 na estação Pinheiros, além de medi-la em mais duas estações no município de São Paulo: Cerqueira César e Congonhas, no ano de 2024. Dessa forma, comparou-se os dados obtidos com o monitoramento realizado em 2012-2014, e se buscou identificar o impacto da implementação de tecnologias de emissão veicular mais recentes na concentração de NH_3 na atmosfera. Os resultados mostraram que as concentrações médias anuais de NH_3 foram de 22, 23 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, em Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas, respectivamente. Estes valores foram superiores ao valor de referência de longo prazo da Organização Mundial da Saúde (OMS), de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os valores diários estiveram abaixo dos limites de 24 h considerados pela CETESB (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e pela OMS (270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A maior concentração média anual foi observada em Congonhas, possivelmente devido à intensa circulação de veículos pesados na região. A análise de correlação indicou uma correlação significativa entre NH_3 e poluentes veiculares ($\text{MP}_{2,5}$, CO, NO_2 e fumaça) em todas as estações, sugerindo que as emissões veiculares são uma fonte significativa de NH_3 para a atmosfera. As maiores concentrações de NH_3 foram observadas no inverno e início da primavera, possivelmente devido às condições meteorológicas de estabilidade atmosférica e baixa umidade. Esse comportamento difere do estudo anterior realizado em Pinheiros, que apontava maiores concentrações no verão, indicando uma mudança no perfil das fontes emissoras, com maior contribuição veicular no estudo atual. Dessa forma, concluiu-se que as concentrações de NH_3 na atmosfera do município de São Paulo continuam elevadas, ultrapassando o valor de referência de longo prazo da OMS, e têm o tráfego como uma das principais fontes emissoras. As concentrações de amônia na atmosfera podem ainda sofrer mudanças significativas devido à renovação da frota de veículos pesados para atender às novas fases do PROCONVE, tornando importante a medição e o acompanhamento da tendência deste poluente nos próximos anos.

Palavras chaves: NH_3 , Emissões Veiculares, PROCONVE, SCR, Material Particulado, Poluição do Ar, Qualidade do Ar.

Listas de Ilustrações e Tabelas

Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem.....	15
Figura 2 – Esquema do trem de amostragem para determinação de amônia	16
Figura 3 – Diagramas de caixa das concentrações de amônia (NH₃) medidas nas estações de Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas em 2024	17
Figura 4 - Concentrações diárias de amônia obtidas nas estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas em 2024.....	17
Figura 5 – Concentrações médias de NH₃ e médias das máximas diárias de temperatura (T_{máx}), em Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas, em cada mês do ano de 2024	20
Tabela 1 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as concentrações diárias de amônia e de diversos poluentes medidos pelas estações automáticas e manuais em 2024	19
Tabela 2 - Faixa de valores e médias de amônia obtidas em diferentes localidades.....	21
Tabela 3 – Concentrações diárias de amônia (NH₃) determinadas no município de São Paulo, nas estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas	26

Lista de Abreviaturas e Siglas

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
LDM	Limite de Detecção do Método
MP	Material Particulado
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SCR	Redução Catalítica Seletiva, do inglês <i>Selective Catalyst Reduction</i>
VER	Via Estrutural Restrita
ZMRC	Zona de Máxima Restrição de Circulação

Lista de Símbolos

MP _{2,5}	partículas inaláveis finas
CO	monóxido de carbono
O ₂	oxigênio
NH ₃	amônia
NO _x	óxidos de nitrogênio
NO ₂	dióxido de nitrogênio
SO ₂	dióxido de enxofre
µg	micrograma
µm	micrômetro
µg/m ³	micrograma por metro cúbico
L/min	litro por minuto
mm	milímetro
cm ²	centímetro quadrado
r	coeficiente de correlação de Pearson

Sumário

1 Introdução	13
2 Objetivo	14
3 Amostragem e Análise.....	14
<i>3.1 Locais de Amostragem</i>	<i>14</i>
<i>3.2 Amostragem e Análise de Amônia.....</i>	<i>16</i>
<i>3.3 Período e Duração da Amostragem</i>	<i>16</i>
4 Resultados e Discussão.....	16
<i>4.1 Análise dos dados</i>	<i>16</i>
<i>4.2 Comparação com valores de referência</i>	<i>18</i>
<i>4.3 Comparação com outros poluentes</i>	<i>18</i>
<i>4.4 Sazonalidade</i>	<i>20</i>
5 Conclusões	22
Referências	24
Apêndice	26

1 Introdução

O município de São Paulo se transformou, ao longo dos anos, em uma cidade predominantemente de serviços devido à mudança de várias indústrias para outras localidades. Possui uma frota circulante de 4,4 milhões de veículos – 62% da frota da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) – tendo os veículos como principais fontes da poluição atmosférica (CETESB, 2022).

Desde 1986, o PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores regulamenta as emissões dos veículos comercializados no mercado brasileiro. Para atender aos limites de emissão, determinados pelo PROCONVE, que são cada vez mais restritivos, há necessidade de uma constante evolução tecnológica no ramo automotivo (SILVA, 2015).

O conversor catalítico, ou catalisador, está entre as principais tecnologias de controle de emissões veiculares. Para atendimento aos limites mais restritivos do PROCONVE, a partir de 1997, todos os veículos leves passaram a utilizar conversor catalítico de três vias. No caso dos veículos pesados movidos a diesel, uma inovação para a redução dos óxidos de nitrogênio (NO_x) emitidos por esses motores, foi a introdução, em 2012, do sistema de pós-tratamento de gases, conhecido pela sigla SCR - *Selective Catalyst Reduction* (BORSARI, 2014).

Apesar das características diferentes, tanto o catalisador do tipo três vias quanto o sistema de pós-tratamento de gases do tipo SCR, podem emitir amônia para a atmosfera. Assim, as fontes de emissão de amônia que geralmente são associadas a processos biológicos naturais, atividades agrícolas, emissões industriais, além de processos de combustão, têm nas fontes móveis uma crescente e significativa contribuição nas áreas urbanas (ZHAN, 2009).

A amônia (NH_3) desempenha um papel importante na química atmosférica. Por ser um gás alcalino, afeta a acidez das nuvens e da precipitação e contribui significativamente para a formação de partículas. A amônia reage rapidamente com espécies ácidas presentes nos aerossóis atmosféricos, como ácido sulfúrico e ácido nítrico, levando à formação de sulfato e nitrato de amônio. Esses aerossóis inorgânicos secundários contribuem para as partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$) material particulado atmosférico de pequeno tamanho, sendo por isso transportado pelo vento e retornando à superfície por processo de deposição seca ou úmida.

Como a amônia é muito solúvel em água e a maioria da sua deposição é ocasionada pela chuva, seu tempo de permanência na atmosfera é de poucas horas, porém, em atmosferas mais estáveis, pode chegar a uma semana. O seu tempo de permanência na atmosfera é muito influenciado pelas fontes próximas (CAO et al. 2009).

A presença de amônia na atmosfera, dependendo das concentrações, pode afetar a saúde humana diretamente, causando dor de cabeça, náuseas e, em concentrações muito elevadas, queimaduras severas na pele, nariz e garganta e indiretamente por interagir com outros elementos e facilitar a formação de material particulado, outro importante poluente

atmosférico, que pode ser facilmente inalado, depositando-se nos pulmões ou nas vias aéreas superiores.

Diante de um possível impacto nas concentrações da amônia atmosférica devido à introdução dos sistemas de tratamento de gases nos veículos pesados, com a nova fase do PROCONVE (Fase P7 em 2012), a CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – realizou, de 2012 a 2014, o monitoramento desse poluente na atmosfera de Pinheiros, em São Paulo (CETESB, 2016). Neste estudo a concentração média de amônia em Pinheiros foi de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Não houve correlação com poluentes veiculares, e os níveis aumentaram nos meses mais quentes, fato que foi atribuído às temperaturas mais elevadas e à degradação biológica. A ausência de variação significativa entre dias úteis e fins de semana sugeriu fontes além do tráfego, como o Rio Pinheiros, cuja influência precisaria ser confirmada por novos estudos, sendo que o monitoramento em locais distantes do rio poderia eliminar essa interferência.

Desta forma, em 2024 foi realizado novo estudo de determinação de NH_3 na atmosfera do município de São Paulo, cujos resultados são objeto do presente relatório.

2 Objetivo

Este estudo teve como objetivo determinar a concentração de amônia (NH_3) na atmosfera do município de São Paulo em três diferentes pontos de amostragem – Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas – e compará-la com os dados do monitoramento realizado pela CETESB entre 2012 e 2014. Além disso, buscou identificar tendências e avaliar o impacto das regulamentações mais recentes do PROCONVE na concentração atmosférica de amônia.

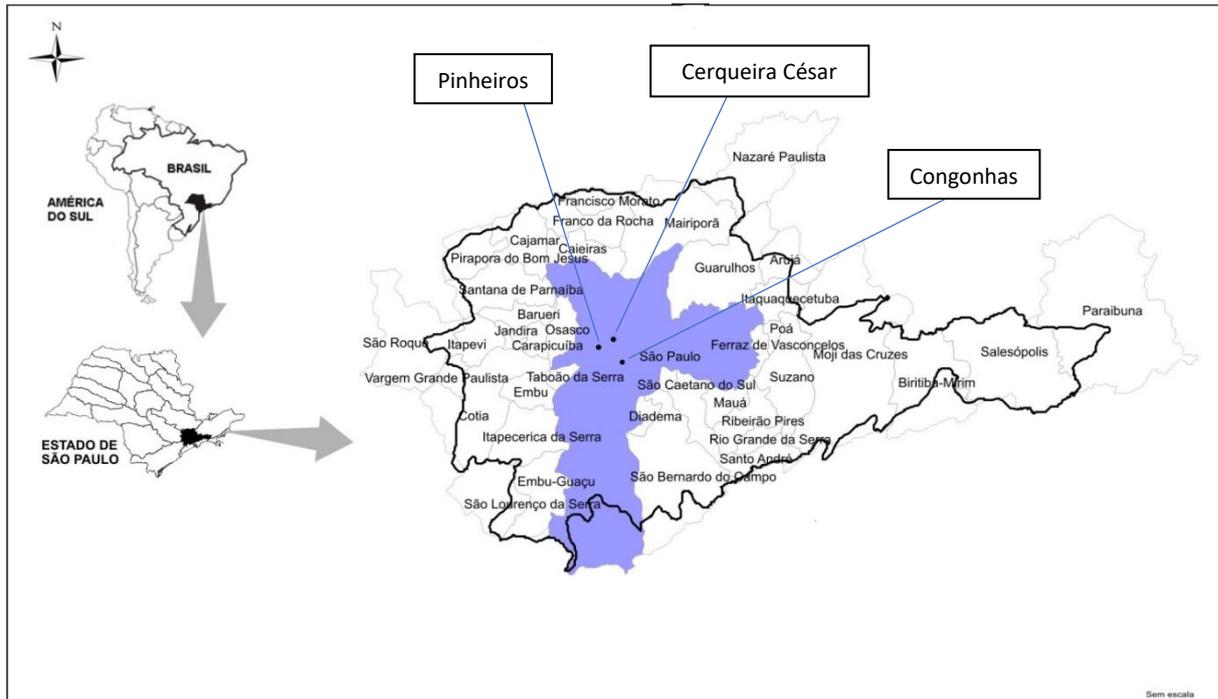
3 Amostragem e Análise

Em 2024, foram coletadas amostras de amônia na atmosfera das estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas, pertencentes à rede de avaliação da qualidade do ar da CETESB.

3.1 Locais de Amostragem

A localização dos pontos de amostragem no município de São Paulo está apresentada na **Figura 1**.

Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem



As concentrações de poluentes observados em uma determinada estação de amostragem dependem de uma série de fatores relativos à localização desta estação e das fontes de emissão que a influenciam. A escala espacial de representatividade da estação define a área de abrangência em que os níveis de concentração e os valores medidos na estação podem ser considerados similares.

A estação **PINHEIROS** está instalada na sede da CETESB, na Av. Prof. Frederico Hermann Jr, 345, distante cerca de 40 metros desta avenida, que possui tráfego de veículos leves e pesados (ônibus). A marginal do Rio Pinheiros, que possui intenso fluxo de veículos, encontra-se a, aproximadamente, 350 m da estação.

A estação Pinheiros, pertencente à rede manual, localizada na zona oeste de São Paulo é considerada uma estação de média escala. Essa escala espacial caracteriza-se por estar localizada mais distante das fontes de emissão, abrangendo áreas de dimensões entre 100 e 500 metros.

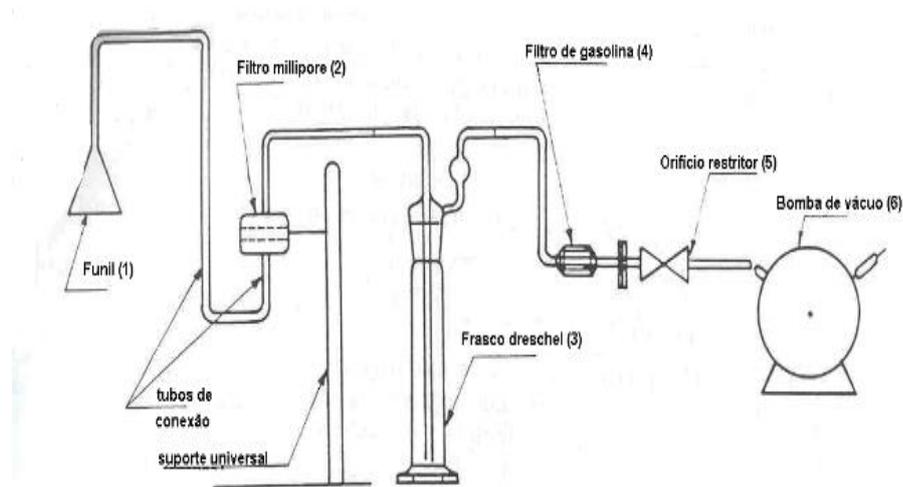
A estação **CERQUEIRA CÉSAR** localiza-se na zona oeste de São Paulo, em uma das partes mais altas da cidade, é considerada uma estação de microescala. Essa escala espacial caracteriza-se por estar localizada próxima às fontes de emissão, neste caso as vias de tráfego, abrangendo áreas de dimensões de poucos metros a 100 metros (CETESB, 2005). A estação está instalada, junto à estação automática da qualidade do ar, na Faculdade de Saúde Pública, distante cerca de 7 metros da Av. Dr. Arnaldo, que possui tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados (ônibus).

A estação **CONGONHAS** está instalada no pátio da EMEF Prof. João Carlos da Silva Borges, junto à estação automática da qualidade do ar, situada na Alameda dos Tupiniquins, 1571, na zona sul de São Paulo. Localiza-se à cerca de 5 metros da Av. dos Bandeirantes, que possui tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados, sendo considerado uma estação de microescala.

3.2 Amostragem e Análise de Amônia

A análise da amônia foi realizada utilizando-se o método de Nessler que consiste em se fazer borbulhar, a uma vazão de aproximadamente 0,5 L/min, o ar atmosférico em solução diluída de ácido sulfúrico que reagirá com a amônia presente resultando em sulfato de amônio, sendo que o ar é previamente filtrado em filtro Whatman nº 1. O íon amônio presente na solução é determinado, quantitativamente, por reação com reagente de Nessler, sendo a determinação realizada espectrofotometricamente (comprimento de onda 440 nm). O limite de detecção do método (LDM) foi de 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Um esquema do trem de amostragem utilizado está apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema do trem de amostragem para determinação de amônia



3.3 Período e Duração da Amostragem

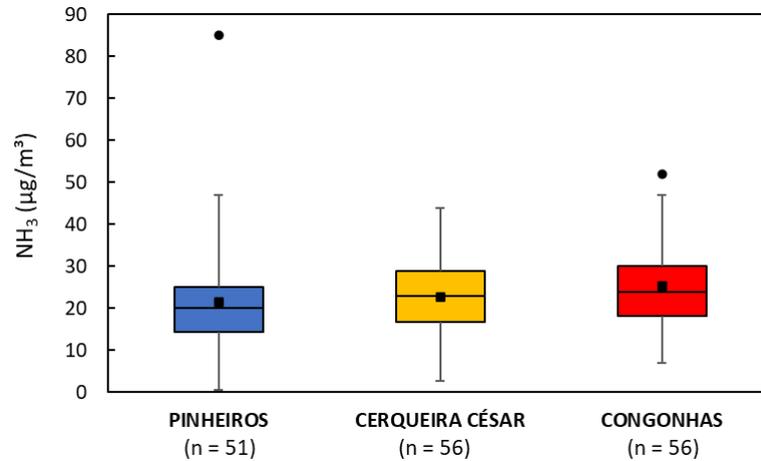
O período de amostragem foi de 17/01/2024 a 18/12/2024. As amostragens foram realizadas a cada seis dias por períodos de 24 horas, totalizando, em média, 54 amostras por estação.

4 Resultados e Discussão

4.1 Análise dos dados

A distribuição das concentrações de amônia determinadas nas estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas, em 2024, está apresentada na forma de diagramas de caixa na Figura 3.

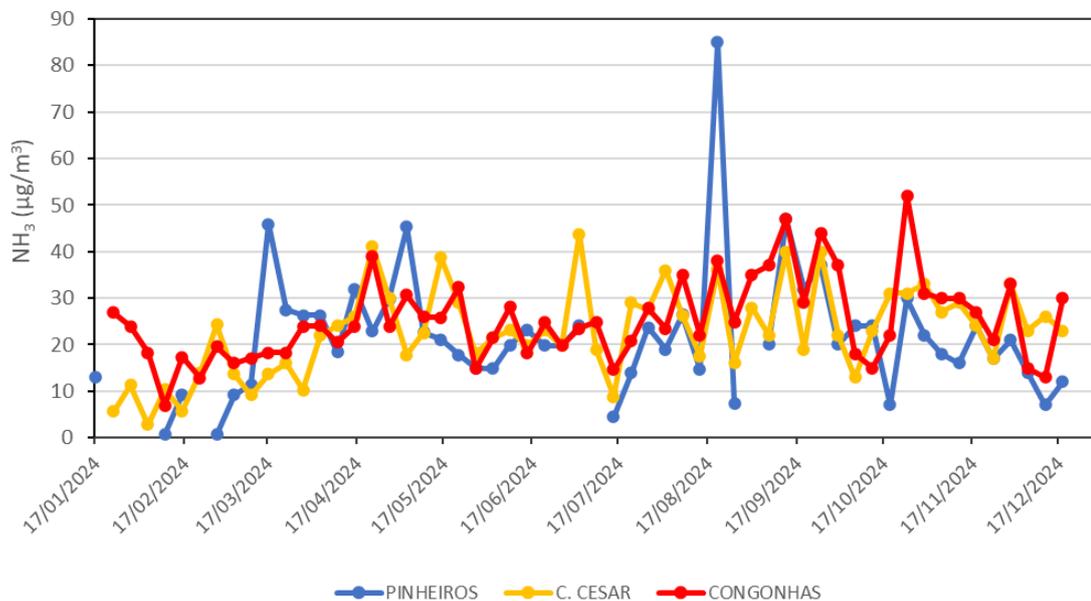
Figura 3 – Diagramas de caixa das concentrações de amônia (NH₃) medidas nas estações de Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas em 2024



A linha do meio de cada caixa representa a mediana, a caixa inferior é o primeiro quartil, a caixa superior é o terceiro quartil, as barras de erro indicam os valores mínimos e máximos, (▪) média aritmética, (●) *outlier*, e n = número de amostras. Para o cálculo das médias, quando o valor encontrado esteve abaixo do LDM, foi utilizada a metade deste valor.

Observa-se na Figura 3 que as concentrações médias anuais de NH₃ foram similares nos três locais de amostragem, sendo que a maior média foi obtida na estação Congonhas (25 ± 9 µg/m³), seguida de Cerqueira César (23 ± 10 µg/m³) e Pinheiros (22 ± 14 µg/m³). Já o maior valor diário de concentração de amônia foi obtido na estação Pinheiros, 85 µg/m³, ocorrido em 20/08/2024. As concentrações diárias de amônia obtidas nas estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas de janeiro a dezembro de 2024 estão apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Concentrações diárias de amônia obtidas nas estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas em 2024



4.2 Comparação com valores de referência

Não existe na legislação padrão de qualidade do ar para a amônia, porém a CETESB (1993 e 1999) considerou como referência o valor de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período de 24 horas. Esse valor também é utilizado pelo Ministério do Meio Ambiente de Ontário no Canadá (OME, 2020).

A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2000) sugere em sua publicação *Air Quality Guidelines for Europe* o valor de referência para a amônia de $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para exposição de curto prazo (24 horas) e $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média anual).

O programa que subsidia a Organização Mundial de Saúde chamado de *International Programme on Chemical Safety*, estabelece que as concentrações atmosféricas de amônia podem variar de acordo com o local e uso do solo. Em geral, as áreas urbanas apresentam concentrações na ordem de 5 a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24h de exposição. Em zonas rurais sem intensiva produção de estrume ou utilização de fertilizantes, podem chegar a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Porém em áreas com criação intensiva de animais ou altas taxas de aplicação de estrume, os valores de concentração podem ser na ordem de 100 a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IPCS/INCHEM, 1986).

A ATSDR – *Agency for Toxic Substances & Disease Registry* apresenta que a concentração média global de amônia na atmosfera varia de 0,2 a $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e que podem ser encontradas concentrações mais elevadas na vizinhança de zonas agrícolas ou industriais (ATSDR, 2004).

Os valores diários de amônia obtidos no entorno das estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas encontraram-se abaixo do valor de referência para exposição de curto prazo (24 h) considerado pela CETESB ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e pela OMS ($270 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Por outro lado, as médias anuais obtidas foram superiores ao valor de referência adotado pela OMS para longo prazo ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nas três estações monitoradas.

4.3 Comparação com outros poluentes

Na RMSP, a principal fonte de emissões atmosféricas é proveniente dos veículos. Considerando o potencial aumento da emissão de amônia decorrente da ampla utilização dos catalisadores do tipo três vias nos veículos leves fabricados a partir de 1997, e, mais recentemente, da introdução do SCR nos veículos pesados em 2012, foi realizada uma análise de correlação entre os dados de amônia e demais poluentes relacionados à emissão veicular.

Para essa análise, foram utilizados dados de partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$), monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogênio (NO_2) medidos nas estações de monitoramento de Congonhas e Cerqueira César, ambas pertencentes a rede automática da qualidade do ar, mesmo local onde a amônia é medida. No caso de Pinheiros, os dados são coletados na estação automática de Pinheiros, localizada a aproximadamente 40 metros da estação manual onde a amônia é monitorada. Além destes poluentes monitorados pela rede automática, também foram incluídos na análise os dados de fumaça (FMC), parâmetro diretamente associado ao teor de fuligem na atmosfera e bom indicador dos processos de combustão, monitorado pela rede manual nas estações de Pinheiros e Cerqueira César.

Os coeficientes de correlação de Pearson (r) obtidos entre as concentrações diárias de amônia e dos demais poluentes relacionados à emissão veicular determinados em Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas, em 2024, estão apresentados na Tabela 1. Os valores em negrito indicam correlação significativa com intervalo de confiança de 95%.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre as concentrações diárias de amônia e de diversos poluentes medidos pelas estações automáticas e manuais em 2024

	MP _{2,5}	CO	NO ₂	FMC
NH ₃ -Pinheiros	0,545	0,399	0,468	0,513
NH ₃ -Cerqueira César	0,491	0,507	0,456	0,521
NH ₃ -Congonhas	0,520	0,362	0,446	n.d.

n.d. = não determinado

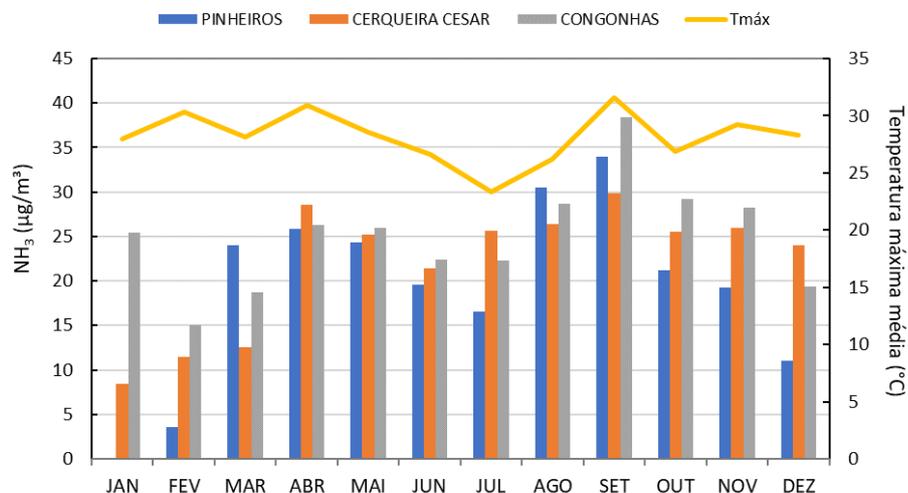
Todos os coeficientes de correlação foram estatisticamente significativos (nível de confiança de 95%), indicando correlações, no geral, moderadas (r de 0,40 a 0,69) (MUKAKA, 2012). A análise da correlação de Pearson indicou que, nas três estações, a emissão veicular pode ser uma fonte importante de NH₃ para atmosfera. Este resultado é diferente do que havia sido observado no estudo realizado no período de 2012 a 2014, em que não houve uma correlação significativa entre NH₃ e CO, e FMC na estação de Pinheiros. É importante notar que, na estação Pinheiros, a NH₃ não foi monitorada exatamente no mesmo local dos demais poluentes, como é o caso das estações Cerqueira César e Congonhas.

Cerqueira César e Congonhas são estações de microescala, diretamente influenciadas pelas emissões veiculares, por estarem a poucos metros das vias. A estação Cerqueira César está localizada na Zona de Máxima Restrição de Circulação (ZMRC), onde somente os caminhões cadastrados e autorizados podem transitar nos horários de restrição (2^a a 6^a feira das 5 às 21h e aos sábados das 10 às 14h). A estação Congonhas está localizada ao lado da Av. dos Bandeirantes, uma Via Estrutural Restrita (VER) onde também há restrição de circulação de caminhões nos mesmos horários da ZMRC. No entanto, a Av. dos Bandeirantes possui um grande tráfego de caminhões no período noturno (fora dos horários de restrição), por ser uma importante via de ligação na zona sul de São Paulo, conectando a marginal Pinheiros às rodovias Anchieta e Imigrantes e sendo o principal acesso ao Aeroporto de Congonhas. Dessa forma, a estação Congonhas sofre influência de um número maior e mais variado de veículos pesados, o que possivelmente explica a concentração anual de NH₃ ligeiramente mais elevada encontrada em Congonhas.

4.4 Sazonalidade

No estudo da CETESB realizado entre 2012 e 2014 em Pinheiros, as maiores concentrações médias de NH_3 foram registradas durante o verão, estação caracterizada por temperaturas mais elevadas, condições que favorecem a volatilização da amônia (CETESB, 2016). No entanto, no presente estudo, os picos de concentração de NH_3 ocorreram nos meses de inverno e início da primavera (Figura 5).

Figura 5 – Concentrações médias de NH_3 e médias das máximas diárias de temperatura ($T_{\text{máx}}$), em Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas, em cada mês do ano de 2024



Esse comportamento pode ser atribuído às condições meteorológicas de estabilidade atmosférica no inverno, que dificultam a dispersão dos poluentes. Além disso, a baixa umidade característica desse período reduz a remoção da amônia por deposição úmida. De fato, observou-se uma correlação negativa significativa entre as concentrações diárias de NH_3 e a umidade relativa média em Pinheiros ($r = -0,377$), Cerqueira César ($r = -0,407$) e Congonhas ($r = -0,437$).

Adicionalmente, verificou-se uma correlação positiva significativa entre a NH_3 e a temperatura máxima diária apenas na estação de Pinheiros ($r = 0,332$), porém esta correlação foi fraca, e o valor do coeficiente de correlação foi consideravelmente inferior ao observado no estudo de 2012-2014 ($r = 0,724$). Esse resultado sugere uma mudança no perfil das fontes emissoras na estação de Pinheiros, indicando uma maior contribuição veicular no estudo atual.

4.5 Comparação com dados ambientais de outros locais

Na Tabela 2, estão apresentadas as concentrações de amônia determinadas em áreas urbanas, em diferentes cidades, relatadas neste estudo e em outros trabalhos. É importante salientar que a comparação dos resultados é complexa, uma vez que foram utilizadas

diferentes condições, como métodos de amostragem e análise, limites de detecção e diferentes períodos.

Tabela 2 - Faixa de valores e médias de amônia obtidas em diferentes localidades

LOCAL	Período	NH ₃ (µg/m ³)		Referência
		Média	Máximo	
São Paulo (Pinheiros)	2024	22	85	este estudo
São Paulo (Cerqueira César)	2024	23	44	este estudo
São Paulo (Congonhas)	2024	25	52	este estudo
São Paulo (Pinheiros)	2012-2014	15	63	CETESB (2016)
São Paulo (Parque do Povo)	2011	15	-	VIEIRA-FILHO et al. (2016)
Cubatão, Brasil	1998	33	86	CETESB (1999)
Barcelona, Espanha (urbano)	2011-2020	2,1	5,0	RECHE et al. (2022)
Barcelona, Espanha (tráfego)	2014-2018	5,3	9,7	
Seoul, Coreia do Sul (urbano)	2020-2021	13	21	SINGH et al. (2021)
Seoul, Coreia do Sul (tráfego)	2020-2021	11	19	
Pequim, China (urbano)	2018-2019	15	93	LAN et al. (2021)
Nova Delhi, Índia (urbano)	2011-2015	13	56	SARASWATI et al. (2018)

Observa-se que as concentrações de amônia obtidas foram maiores que as relatadas em outro local do município de São Paulo (Parque do Povo) em 2011, e que em outras cidades do mundo, como Barcelona, Seoul, Pequim e Nova Delhi (Tabela 2). As médias encontradas neste estudo foram inferiores somente às obtidas em Cubatão em 1998, que possui fontes industriais que emitem amônia e é fortemente influenciada por essas fontes.

As concentrações médias de amônia encontradas no presente estudo foram cerca de 50% maiores que as concentrações determinadas anteriormente, entre 2012 e 2014, em Pinheiros (15 µg/m³). Um aumento na concentração atmosférica de amônia já tem sido relatado em diversos trabalhos na literatura. Por exemplo, em Barcelona (Espanha), um aumento de 9,4% ao ano foi observado em um local de amostragem urbano entre 2011 e 2020 (RECHE et al., 2022). Este mesmo trabalho verificou que as concentrações em um local diretamente impactado pelo tráfego de veículos (5,3 µg/m³) foram significativamente superiores às do local considerado *background* urbano (2,1 µg/m³), indicando a importância dos veículos como fonte de amônia para a atmosfera.

Resultado similar foi obtido por Vieira-Filho et al. (2016) em São Paulo, em que as concentrações de amônia foram 3 vezes maiores dentro do Túnel Jânio Quadros em comparação com amostragem fora do túnel, no Parque do Povo.

O tempo de residência da amônia na atmosfera é relativamente curto, de apenas 0,8 dia, sendo que 90% da amônia é transformada no íon amônio (NH_4^+) (MÖLLER, 1985). Um trabalho realizado em Ribeirão Preto – SP, acompanhou as concentrações de NH_4^+ removido por deposição úmida (chuva) e observou que a concentração média anual de NH_4^+ na água de chuva aumentou 9,7% ao ano entre 2005 e 2020 (FLORÊNCIO, 2022), taxa similar à observada em Barcelona para a amônia atmosférica (RECHE et al., 2022). No caso do trabalho realizado em Ribeirão Preto - SP, o aumento foi atribuído ao uso dos catalisadores nos veículos, ao aumento do uso de fertilizantes e à queima de biomassa.

Em um estudo com registros de satélite, foi observado um aumento significativo das concentrações urbanas globais de NH_3 entre 2008 e 2019, com um crescimento médio de 1,2% ao ano. Esse aumento foi atribuído, em grande parte, à redução das concentrações de gases ácidos (NO_x e SO_2) na atmosfera (LIU et al., 2024). De fato, nas três estações analisadas no presente relatório, as concentrações médias anuais de NO_x e SO_2 diminuíram de 64 e 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2012-2014 para 58 e 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2024, respectivamente. Essa diminuição pode estar associada à menor emissão desses poluentes pelos veículos, que vem sendo regulamentada por políticas de controle (CETESB, 2024).

Dessa forma, as regulamentações mais recentes do PROCONVE podem ter influenciado a concentração de amônia de duas maneiras: diretamente, devido à emissão de NH_3 decorrente de reações químicas que ocorrem nos catalisadores, e indiretamente, pela menor emissão de gases ácidos, que neutralizam a amônia na atmosfera.

5 Conclusões

Os resultados deste estudo indicaram que as concentrações de amônia na atmosfera, embora abaixo dos limites de referência para exposição de curto prazo estabelecidos pela CETESB (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e pela Organização Mundial da Saúde (270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), apresentaram médias anuais superiores ao valor de referência de longo prazo da OMS (8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas três estações monitoradas: Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas. A maior concentração média anual foi observada em Congonhas, possivelmente devido à intensa circulação de veículos pesados na região. Já a maior concentração diária, de 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, foi observada na estação de Pinheiros.

A análise dos dados indicou que as emissões veiculares são uma fonte relevante de amônia na atmosfera urbana, devido às correlações significativas obtidas entre as concentrações de NH_3 e outros poluentes associados à emissão veicular, como $\text{MP}_{2,5}$, CO, NO_2 e fumaça. Esse resultado contrasta com o estudo anterior, realizado em Pinheiros entre 2012 e 2014, que não identificou uma correlação significativa entre NH_3 e emissões veiculares.

Além disso, observou-se um padrão sazonal distinto, com picos de concentração de NH_3 ocorrendo no inverno e início da primavera, possivelmente devido às condições meteorológicas de estabilidade atmosférica e baixa umidade, que dificultam a dispersão e a remoção do poluente. Esse comportamento difere do padrão anteriormente observado em

Pinheiros, em que as maiores concentrações ocorriam no verão, indicando uma possível mudança na contribuição relativa das diferentes fontes.

O aumento das concentrações de NH_3 ao longo dos anos, tanto em São Paulo quanto em outras regiões, pode estar relacionado à adoção de tecnologias de controle de emissões veiculares, como catalisadores de três vias (em veículos leves de ignição por centelha) e sistemas SCR (em veículos diesel), que podem contribuir diretamente para a emissão de amônia, ou então, indiretamente, pela redução da concentração dos gases ácidos NO_x e SO_2 , que neutralizam a amônia na atmosfera.

É importante destacar que o comportamento das concentrações de amônia na atmosfera pode ainda sofrer alterações significativas, uma vez que a frota de veículos pesados está em processo de renovação para atender à fase P8 do PROCONVE. Na fase P7, cujas exigências passaram a ser obrigatórias a partir de 2012, a redução no limite de NO_x fez com que a maioria dos veículos pesados passassem a ser equipados com o sistema SCR. A fase P8, que entrou em vigor em 2022, restringiu ainda mais esse limite, o que tornou obrigatório o uso do sistema SCR e do agente redutor líquido automotivo ARLA-32. No entanto, a fase P8 também introduziu uma redução significativa no limite de emissão de amônia, passando de 25 ppm, vigente na fase P7, para 10 ppm. Além disso alguns veículos comerciais leves movidos a diesel, para atendimento da fase L7 do Proconve, também foram equipados com sistema SCR. É esperado que o número de modelos dessa categoria, equipados com SCR, cresça paulatinamente conforme os limites de emissão corporativa da fase L8 ficarem mais restritivos entre 2025 e 2031, conforme prevê a legislação ambiental vigente.

Portanto, a medição e o acompanhamento da tendência deste poluente nos próximos anos tornarão possível a avaliação do efeito dessas novas regulamentações e da renovação da frota na qualidade do ar, especialmente nas áreas urbanas com alta densidade de tráfego de veículos pesados.

Referências

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological Profile for Ammonia**. Sep. 2004. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp126.pdf>>. Acesso em: out 2024.

BORSARI, Vanderlei. **Emissão de amônia de veículo automotor leve e sua importância para a saúde ambiental**. 2014. 176 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CETESB. **Estudo de Amônia na Atmosfera de Cubatão – 1992**, São Paulo, 1993. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/e831245a-4240-4c95-8a4b-eca39b9ffd25/content>. Acesso em: fev. 2025.

CETESB. **Amônia na atmosfera de Cubatão – 1998**, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/2c39c491-b7ae-473d-a7c5-ea06507c7781/content>. Acesso em: fev. 2025

CETESB. **Concentrações de Amônia na Atmosfera de Pinheiros – Município de São Paulo – SP**, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: nov. 2024.

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2022**, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>. Acesso em: nov. 2024.

CETESB. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2023**, São Paulo, 2024. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: out 2024.

FLORÊNCIO, J. et al. A long-term overview of nitrogen in tropical Rainwater and wet deposition fluxes in Southern Brazil. **Atmospheric Environment**, 290, 119369, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119369>

IPCS/INCHEM - International Programme on Chemical Safety. **Environmental Health Criteria 54 - Ammonia**. Genebra, 1986. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc54.htm>. Acesso em: out. 2024.

OME - Ontario Ministry of The Environment. **Ontario's ambient air quality criteria**, May 2020. Disponível em: <https://files.ontario.ca/mecp-ambient-air-quality-criteria-list-en-2020-05-01.pdf>. Acesso em: out. 2024.

LAN, Z. et al. Measurement report: Exploring NH₃ behavior in urban and suburban Beijing: comparison and implications. **Atmospheric Chemistry and Physics** 21, 4561-4573, 2021. <https://doi.org/10.5194/acp-21-4561-2021>

LIU, S. et al. Evidence for global increases in urban ammonia pollution and their drivers. *Science of Total Environment* 955, 176846. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176846>

MÖLLER, D. et al. A relationship between agricultural NH₃ emissions and the atmospheric SO₂ content over industrial areas. *Atmospheric Environment*, 19(5), 695-700, 1985. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(85\)90056-3](https://doi.org/10.1016/0004-6981(85)90056-3)

MUKAKA, M.M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J.*, 24(3), 69-71, 2012. PMCID: PMC3576830; PMID: 23638278

RECHE, C. et al. 2011-2020 trends of urban and regional ammonia in and around Barcelona, NE Spain. *Chemosphere*, 304, 135347, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135347>

SARASWATI, S.S.K. et al. Five-year measurements of ambient ammonia and its relationships with other trace gases at an urban site of Delhi, India. *Meteorology and Atmospheric Physics* 130, 241-257, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0512-2>

SILVA, Silmara Regina. **Concentrações de Amônia na Atmosfera na Cidade de São Paulo e sua Relação com a Poluição Veicular**. 2015. 104 p. Dissertação (Mestre em Ciências), Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. <https://doi.org/10.11606/D.6.2016.tde-19112015-115811>

SINGH, R. et al. Seasonal and Spatial Variations of Atmospheric Ammonia in the Urban and Suburban Environments of Seoul, Korea. *Atmosphere* 12, 1607, 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12121607>

VIEIRA-FILHO, M.S. et al. Gas-phase ammonia and water-soluble ions in particulate matter analysis in an urban vehicular tunnel. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 19876-19886, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7177-0>

WHO. **Air Quality Guidelines for Europe. Regional Office for Europe**. WHO Regional Publications, European Series, Nº. 91 Second Edition, Copenhagen, 2000. Disponível em: <<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107335/9789289013581-eng.pdf>>. Acesso em out 2024.

ZHAN, T. **On-Road Motor Vehicle Emissions including NH₃, SO₂ and NO₂ - Final Report**. Prepared for the California Air Resources Board and the California, Environmental Protection Agency, Estados Unidos, 2019. Disponível em: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/research/apr/past/17rd015.pdf>. Acesso em: fev. 2025.

Apêndice

Tabela 3 – Concentrações diárias de amônia (NH₃) determinadas no município de São Paulo, nas estações Pinheiros, Cerqueira César e Congonhas

Data	NH ₃ (µg/m ³)		
	Pinheiros	Cerqueira César	Congonhas
17/01/2024	13	-	-
23/01/2024	-	6	27
29/01/2024	-	11	24
04/02/2024	-	3	18
10/02/2024	<LDM ^a	10	7
16/02/2024	9	6	17
22/02/2024	-	14	13
28/02/2024	<LDM ^a	24	20
05/03/2024	9	14	16
11/03/2024	11	9	17
17/03/2024	46	14	18
23/03/2024	27	16	18
29/03/2024	26	10	24
04/04/2024	26	22	24
10/04/2024	18	24	20
16/04/2024	32	26	24
22/04/2024	23	41	39
28/04/2024	30	30	24
04/05/2024	45	18	31
10/05/2024	23	23	26
16/05/2024	21	39	26
22/05/2024	18	29	32
28/05/2024	15	18	15
03/06/2024	15	21	21
09/06/2024	20	23	28
15/06/2024	23	20	18
21/06/2024	20	23	25
27/06/2024	20	20	20
03/07/2024	24	44	23
09/07/2024	-	19	25
15/07/2024	4	9	15
21/07/2024	14	29	21
27/07/2024	24	28	28
02/08/2024	19	36	24
08/08/2024	26	26	35

continua

Continuação da Tabela 4

14/08/2024	15	18	22
20/08/2024	85	36	38
26/08/2024	7	16	25
01/09/2024	-	28	35
07/09/2024	20	22	37
13/09/2024	47	40	47
19/09/2024	32	19	29
25/09/2024	37	40	44
01/10/2024	20	22	37
07/10/2024	24	13	18
13/10/2024	24	23	15
19/10/2024	7	31	22
25/10/2024	30	31	52
31/10/2024	22	33	31
06/11/2024	18	27	30
12/11/2024	16	29	30
18/11/2024	24	24	27
24/11/2024	17	17	21
30/11/2024	21	33	33
06/12/2024	14	23	15
12/12/2024	7	26	13
18/12/2024	12	23	30
Média	22	23	26
Mínimo	<LDM^a	3	7
Máximo	85	44	52
n	51	56	56

^aLDM = 1,3 µg/m³



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

Acompanhe as redes sociais da CETESB:

-  Site: cetesb.sp.gov.br
-  Facebook: facebook.com/cetesbsp
-  LinkedIn: linkedin.com/company/cetesb
-  Instagram: instagram.com/cetesbsp
-  SoundCloud: soundcloud.com/cetesbsp