

Qualidade do ar e índice de progresso social em bairros do Rio de Janeiro: um alerta à saúde

A poluição do ar é um importante fator de risco à saúde associando-se a morbimortalidade e demonstrando relação inversa com as condições socioeconômicas. O objetivo do estudo foi descrever a variabilidade da qualidade do ar por Material Particulado (MP), e analisar a sua relação com o índice de Progresso Social (IPS), em 22 bairros do Rio de Janeiro. É um estudo observacional, de série espaço-temporal do período 2001-2018. Os dados das frações de Material Particulado (MP) conhecidas como Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PM10 e PM2.5), foram obtidos do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). O Índice de Progresso Social (IPS), incluiu três dimensões: necessidades humanas, bem-estar e sustentabilidade, foram obtidas do Instituto Pereira Passos (IPP). As médias de todos os anos de MP foram relacionadas com o IPS de cada bairro, e calculado o coeficiente de correlação de Pearson. As médias das concentrações anuais de MP nos bairros estiveram acima do padrão recomendado para PTS em 60% deles, acima do PM2.5 em 91% e em 100% nos que mediram PM10. Todos os bairros violaram o padrão diário das concentrações nas três frações de MP. Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão apresentaram as maiores concentrações médias anuais e diárias dentro os bairros. O PM10 foi a fração com maior queda ao longo dos anos em todos os bairros. As reduções de PM10 nos bairros variaram entre 141% a 94%. A correlação entre o IPS e o PM10, PM2.5 e PTS respectivamente foi muito forte e inversa (-0,891 e -0,835), e moderada e inversa (-0,611). Apesar da queda das concentrações de MP em 78% dos bairros, as concentrações anuais e diárias permaneceram acima dos padrões CONAMA.

Palavras-chave: Poluição do ar; Qualidade do ar; Fatores socioeconômicos; Indicadores de desenvolvimento.

Air quality and the social progress index in neighborhoods of Rio de Janeiro: a health alert

Air pollution is an important health risk factor associated with morbidity and mortality and demonstrating an inverse relationship with socioeconomic conditions. The aim of the study was to describe the variability of air quality by Particulate Material (PM), and to analyze its relationship with the Social Progress Index (SPI), in 22 neighborhoods in Rio de Janeiro. It is an observational study, from a timeless space series from 2001-2018. The data for the Particulate Material (PM) fractions known as Total Suspended Particles (TSP) and Inhalable Particles (PM10 and PM2.5), were obtained from the State Environmental Institute (INEA). The Social Progress Index (SPI) included three dimensions: human needs, well-being and sustainability, were obtained from the Pereira Passos Institute (IPP). The means of all years of PM were related to the SPI of each neighborhood, and Pearson's correlation coefficient was calculated. The average annual concentrations of PM in the neighborhoods were above the recommended standard for TSP in 60% of them, above PM2.5 in 91% and 100% in those that measured PM10. All neighborhoods violated the daily pattern of concentrations in the three PM fractions. Cidade de Deus, Bonsucesso and São Cristóvão had the highest average annual and daily concentrations among the neighborhoods. PM10 was the fraction with the greatest drop over the years in all neighborhoods. Reductions in PM10 in the neighborhoods ranged from 141% to 94%. The correlation between SPI and PM10, PM2.5 and TSP respectively was very strong and inverse (-0.891 and -0.835), and moderate and inverse (-0.611). Despite the drop in PM concentrations in 78% of the neighborhoods, annual and daily concentrations remained above CONAMA standards.


Keywords: Air pollution; Air quality; Socioeconomic Factors; Development Indicators.


Topic: Epidemiologia e Saúde Ambiental


Received: 08/06/2021


Approved: 24/06/2021


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Paulo Henrique de Moura 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6572400916257804>
<https://orcid.org/0000-0001-7077-2514>
paulohdemoura@gmail.com


Paulo Henrique Godoy 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5349799598199104>
<http://orcid.org/0000-0003-0057-7363>
paulo.godoy@unirio.br

Lucia Helena Alvares Salis 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3041475953351871>
<http://orcid.org/0000-0001-5932-6820>
lusalis3@gmail.com

Marina Silva Paez 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2476843545735678>
<http://orcid.org/0000-0003-2298-2992>
marina@im.ufrrj.br

Daniel Wurzler Barreto 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9438984255024825>
<http://orcid.org/0000-0002-6580-3010>
daniwbarreto@gmail.com

Luiz Francisco Pires Guimarães Maia 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6482445580843142>
<http://orcid.org/0000-0002-1696-4168>
luizmaia@lepa.ufrrj.br

Nelson Albuquerque de Souza e Silva 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6460447408144781>
<http://orcid.org/0000-0002-8370-5721>
nsouzaesilva@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0017

Referencing this:

MOURA, P. H.; GODOY, P. H.; SALIS, L. H. A.; PAEZ, M. S.; BARRETO, D. W.; MAIA, L. F. P. G.; SILVA, N. A. S. Qualidade do ar e índice de progresso social em bairros do Rio de Janeiro: um alerta à saúde. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.6, p.199-211, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0017>

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano tem explorado os recursos naturais do ambiente e gerado grandes impactos na atmosfera terrestre, modificando a composição do ar pelo acúmulo de diferentes poluentes e consequentemente interferindo na saúde dos seres vivos (CARVALHO, 2019; MACIEL et al., 2016).

Dentre os diferentes poluentes na atmosfera, o Material Particulado (MP), ou PM de *Particulate Matter*, pode ser identificado pelo seu diâmetro nas frações PTS, PM₁₀ e PM_{2.5}, e classificado de acordo com a sua concentração na atmosfera (CONAMA, 2018). Estudos recentes sobre os efeitos adversos envolvendo o MP, questionam a segurança para populações suscetíveis, como idosos, crianças e pneumopatas, mesmo em concentrações consideradas adequadas (SEGALIN et al., 2016). A Organização Mundial de Saúde (OMS) vem demonstrando aumento da morbimortalidade por doenças cardiovasculares, pulmonares e variados tipos de cânceres, com redução da expectativa de vida (USEPA, 2009; WHO, 2005), e uma inter-relação da poluição do ar com fatores socioeconômicos (GBD, 2016; NUVOLONE et al., 2011).

O estudo sobre a *Global Burden Disease* (GBD) e fatores de riscos atribuiu um ônus a 79 fatores de risco e identificou a poluição do ar como a principal causa global de doenças em países de baixa renda (GBD, 2016). Mundialmente, a poluição do ar tem sido atribuída à 30% das doenças cardíacas isquêmicas e vasculares cerebrais, 17% das doenças pulmonares obstrutivas, e 9% das mortes por câncer pulmonar (GBD, 2018). Em 2017 a mortalidade global atribuída à poluição do ar ultrapassou oito milhões de óbitos, posicionando-a em 4º lugar dentre os fatores de riscos mundiais. Em 2017, o Brasil foi o país com maior número de mortes relacionadas à poluição do ar, totalizando 54.860 mortes e o 7º colocado em mortes por 100.000 habitantes (GBD, 2018).

A melhora dos indicadores socioeconômicos no país tem sido associada à subsequente queda das taxas de morbimortalidade por doenças cardiovasculares, independente da presença dos fatores de risco clássicos (SOARES et al., 2013). A cidade do Rio de Janeiro possui a segunda maior frota de veículos do país, e um grande número de indústrias, que somados elevam a produção de poluentes e impactam diretamente na população residente nos centros urbanos (XU et al., 2014; IBGE, 2010).

A exposição a múltiplos fatores de risco tem demonstrado relação inversa com a classe socioeconômica, uma vez que a população menos desfavorecida, se mais exposta à poluição ambiental, poderá ter piora na qualidade de vida e maiores repercussões sobre a saúde (RODRIGUES et al., 2019). Nos últimos anos novos determinantes sociais de doenças tem sido incluindo às condições socioeconômicas e o local de moradia (ROUX et al., 2016).

As diferenças entre as regiões do Município do Rio do Janeiro (MRJ) podem ser descritas através do Índice de Progresso Social (IPS), que observa indicadores sociais e ambientais de cada bairro, e aponta profundas desigualdades internas de renda, habitação, acesso à educação e saúde no município, como ocorre em comunidades de baixa renda situadas nas proximidades de zonas de maior poder aquisitivo (PULICI et al., 2016; TOWNSEND et al., 2007).

O objetivo do estudo é descrever a variabilidade da qualidade do ar, em diferentes bairros do MRJ

através da medida dos MP e analisar a sua relação com o IPS, nos mesmos bairros entre os anos de 2001 a 2018.

METODOLOGIA

O estudo é observacional, retrospectivo, utilizando dados de órgãos governamentais em duas séries temporais: a série de medidas regulares da poluição do ar ambiental por MP, e a série do Índice de Progresso Social (calculado através da medida de múltiplas variáveis) em 22 bairros do MRJ.

As informações referentes à qualidade do ar foram extraídas das bases de dados públicas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que registram dados das estações semiautomáticas localizadas no MRJ, referentes ao período de 2001 a 2018.

O poluente analisado foi o Material Particulado (MP), nas frações: Partículas Totais em Suspensão (PTS), com diâmetros iguais ou inferiores a 100 μm , Partículas Inaláveis, com diâmetros até 10 μm (PM_{10}), e Partículas Finas, com diâmetros até 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). Tais frações são obtidas por amostragens durante 24 horas, a cada 6 dias registradas por técnicos do INEA que fazem trocas dos filtros e programações para as próximas amostragens (INEA, 2015). Os filtros são posteriormente pesados em laboratório, determinando-se as concentrações médias de 24 horas, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e inseridos os resultados das amostragens das frações no banco de dados da rede.

O local de instalação das estações é estratégico, o INEA identifica previamente as regiões prioritárias que apresentam no seu entorno alto volume de tráfego veicular e indústrias¹⁸. Foram medidos 23 bairros no MRJ para as frações de PTS, PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$. Os dados da estação de Gamboa não foram incluídos nas análises, por ausência de mais de 60% dos registros anuais, considerando os critérios de representatividade adotados pelo INEA.

Foram analisados os dados de 22 bairros do MRJ, de acordo com a fração de MP medida ao longo do tempo em cada bairro, divididos nos seguintes grupos: 10 bairros que analisaram PTS num período de 18 anos; 10 bairros que analisaram PM_{10} , por 18 anos e; 11 bairros que avaliaram $\text{PM}_{2,5}$ num período de 10 anos.

Os resultados das medidas de MP nos bairros foram comparados aos “Padrões de Qualidade do Ar” (PQAR) estabelecidos pelo CONAMA, na Resolução nº 491/18. O padrão definido de PQAR para as concentrações diárias e anuais adotou: - “Padrão intermediário” (PI): valores temporários a serem cumpridos em etapas; - “Padrão final” (PF): valores guia definidos pela OMS em 2005.

A Tabela 1 mostra os valores dos PQAR para os PF de (PTS, PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$) em 24 h e anual, que foram comparados aos valores dos MP medidos nos bairros.

Tabela 1: Padrões de Qualidade do Ar-Resolução nº 491/18 -CONAMA.

Poluente	Período de Referência	PI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material Particulado (PM_{10})	24 horas	120	50
	Anual	40	20
Material Particulado ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	60	25
	Anual	20	10
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	240	240
	Anual	80	80

PI= Padrões Intermediários de qualidade do ar; PF - Padrão Final de qualidade do ar; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = micrograma por metro cúbico.

Os dados de IPS foram obtidos do relatório disponível no site do Instituto Pereira Passos (IPP). Este índice é composto por 3 dimensões que incluem as necessidades humanas básicas, os fundamentos do bem estar e oportunidades, cada dimensão possui 4 componentes (totalizando 12 componentes); estes componentes utilizam 36 variáveis como indicadores para pontuar as regiões administrativas da cidade do Rio de Janeiro (PULICI et al., 2016). As 3 dimensões têm pesos idênticos com resultados que vão de 0 (pior) a 100 (melhor). O cálculo do índice final por bairro é obtido por uma média simples entre as três dimensões. Os bairros são subdivisões das regiões administrativas do MRJ.

Análise Estatística

Os dados de qualidade do ar foram analisados descritivamente por bairro com medidas da média de todos os anos e valores de dispersão (desvio padrão e intervalo de confiança). Também foram descritas as médias máximas e mínimas de concentrações mensais e anuais com datas, e a máxima concentração alcançada em 24 horas em cada bairro nos 18 anos mensurados.

As médias de todos os anos das concentrações das diferentes partículas foram relacionadas com o IPS de cada bairro entre os anos de 2001 a 2018 e foi calculado o coeficiente de correlação linear entre as medidas. Foram retirados das correlações os dados das estações de Campo dos Afonsos, Deodoro e Sumaré, por esses bairros apresentarem baixa densidade populacional, amplo território verde e baixa ocupação residencial conforme informa o relatório do INEA (2015), o que distorceria as correlações entre a poluição e o IPS. Sumaré localiza-se a 700m de altitude na floresta da Tijuca, afastado de fontes poluidoras, com baixa circulação de veículos. As análises estatísticas descritivas dos MP foram realizadas nos programas SPSS 25 da IBM Microsoft® e para confecção gráfica foi utilizado o Excel 2019 da Microsoft®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estações com maiores séries de registros foram Botafogo, Bonsucesso, Castelo e Realengo, os de menor número de registros foram Caju e Campo dos Afonsos. Somente os bairros de Castelo, Cidade de Deus e Maracanã monitoraram as três frações de MP.

A análise das diferentes frações de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} nos 22 bairros do MRJ, de 2001 a 2018, mostrou diferenças das concentrações médias anuais entre os bairros, assim como ao longo dos anos. A tabela 2 mostra as médias, de todos os anos, desvio padrão e intervalo de confiança das concentrações das diferentes partículas e as concentrações máximas e mínimas atingidas.

O PF anual de PTS preconizado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (80 µg/m³) foi ultrapassado entre 7% a 78% em 06 dos dez bairros medidos. Concentrações acima de 100 µg/m³ foram observadas em Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão (142,5; 138,2 e 109,0 µg/m³, respectivamente). Realengo, Castelo e Benfica apresentaram níveis entre 80 e 99 µg/m³ (97,4; 91,0 e 85,7 µg/m³, respectivamente). Tijuca e Maracanã apresentaram níveis “intermediários” (72 µg/m³ e 64 µg/m³, respectivamente). Os bairros de Sumaré e Santa Teresa tiveram as menores concentrações médias de todos os anos (34,6 e 47 µg/m³ respectivamente) figura 1a.

Todos os bairros que mediram PM₁₀ apresentaram níveis acima do PF anual preconizado pelo CONAMA (20 µg/m³). Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão tiveram valores de (73,4; 70,6 e 60,9 µg/m³ respectivamente), ultrapassando em 204% a 267% o PF. Os bairros de Botafogo, Castelo e Maracanã apresentaram as menores concentrações (entre 39,5 a 45,8 µg/m³), mesmo assim, 98% a 129% acima do PF. No Sumaré, Campo dos Afonsos, Leblon, e Deodoro foram observadas as menores concentrações médias de todos os anos de PM₁₀ (23,3; 28,6; 28,8 e 34,6 µg/m³), mas ainda entre 16,5 % a 73% acima do PF (figura 1b).

Tabela 2: Índice de Progresso Social (IPS), Pico Máximo em 24 horas, Médias mensais e anuais da concentração máxima e mínima, data da ocorrência e média da concentração de todos os anos medidos de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}, por bairro do Município do Rio de Janeiro, entre 2001 e 2018.

Estação - Bairros	IPS	Fração de PM	Nº Anos (meses)	Pico Máximo em 24 h (data)	Média Mensal mínima (µg/m³)	Média mensal máxima (µg/m³)	Média anual mínima (µg/m³)	Média anual máxima (µg/m³)	Média de Todos anos (µg/m³) (DP±)	IC
01-Bangu	54,7	PM _{2,5}	07 (72)	68 (24/03/2015)	2,0 (10/2016)	62,5 (03/2015)	8,6 (2016)	14,1 (2015)	11,5±2,3	9,3-13,6
02-Bonsucesso		PTS	04 (34)	271 (14/12/2001)	78,0 (06/2004)	196,0 (10/2002)	110,0 (2004)	156,9 (2001)	138,2±21,0	104,5-171,7
	57,7	PM ₁₀	17 (181)	263 (20/07/2013)	21,0 (04/2017)	128,0 (07/2008)	39,0 (2018)	93,8 (2001)	70,6±16,0	62,4-78,8
03-Benfica	52,1	PTS	16 (175)	304 (27/06/2006)	32,0 (04/2017)	159,5 (07/2006)	59,6 (2017)	103,4 (2002)	85,7±11,0	79,8-91,7
04-Botafogo	86,9	PM ₁₀	17 (188)	294 (23/05/2001)	8,0 (11/2006)	89,0 (07/2006)	29,0 (2018)	52,2 (2001)	39,5±7,0	36,0-43,1
05-Caju	45,3	PM _{2,5}	04 (35)	57 (13/08/2013)	6,0 (08/2012)	36,0 (03/2011)	10,8 (2012)	18,9 (2011)	15,2±3,8	9,8-20,5
06-Campo Afonsos	54,3	PM ₁₀	06 (39)	92 (27/06/2014)	13,0 (08/2015)	62,2 (08/2014)	21,1 (2013)	34,5 (2014)	28,6±4,5	23,7-33,4
07-Castelo		PTS	17 (173)	332 (17/09/2011)	42,0 (04/2003)	235,0 (09/2011)	67,0 (2017)	131,4 (2015)	91,0±16	82,8-99,3
	65,0	PM ₁₀	17 (178)	131(28/08/2001)	19,0 (04/2017)	83,0 (08/2001)	32,0 (2017)	52,3 (2001)	42,9±5,0	40,2-45,6
		PM _{2,5}	09 (98)	58 (15/05/2013)	4,0 (12/2016)	28,7 (06/2011)	10,6 (2018)	20,2 (2010)	15,4±3,0	13,0-17,8
08-Cidade de Deus		PTS	08 (80)	307 (27/07/2006)	81,3 (01/2008)	233,2(808/2002)	121,0 (2004)	176,0 (2001)	142,5±20,5	125,3-159,6
	48,3	PM ₁₀	16 (156)	314 (04/09/2010)	19,0 (07/2007)	159,0 (01/2001)	37,0 (2017)	106,7 (2001)	73,4±20,0	62,7-84,1
		PM _{2,5}	09 (83)	89 (03/10/2009)	7,5 (11/2017)	45,8 (06/2011)	9,5 (2017)	31,5 (2011)	18,4±6,5	13,4-23,4
09-Copacabana	82,5	PM _{2,5}	09 (77)	81 (07/12/2007)	2,0 (12/2017)	25,5 (08/2016)	7,0 (2017)	14,2 (2010)	10,4±2,4	8,5-12,2
10-Deodoro	54,7	PM ₁₀	06 (52)	93 (27/06/2014)	17,0 (09/2013)	64,5 (10/2015)	22,9 (2013)	44,1 (2015)	34,6±8,3	25,9-43,3
11-Eng. de Dentro	66,4	PM _{2,5}	06 (54)	87 (27/06/2014)	6,0 (10/2018)	31,8 (06/2014)	8,9 (2013)	19,2 (2014)	13,8±3,2	10,4-17,2
12-Lagoa	85,2	PM _{2,5}	06 (66)	32 (17/01/2015)	3,0 (10/2018)	20,5 908/2016)	7,2 (2017)	11,3 (2014)	9,5±1,7	7,6-11,2
13-Leblon	85,2	PM ₁₀	06 (57)	96 (19/10/2014)	15,0 (02/2018)	62,3 (10/2014)	24,5 (2013)	32,6 (2014)	28,8±3,0	25,5-32,1
14-Ramos	57,7	PM _{2,5}	07 (68)	65 (13/08/2013)	2,0 (06/2016)	32,0 (08/2013)	10,1 (2015)	17,6 (2014)	14,0±3,0	11,1-16,8
15-Realengo	54,3	PTS	17 (157)	387 (28/08/2001)	46,6 (12/2010)	205,0 (07/2015)	81,0 (2005)	128,1 (2015)	97,4±13,0	90,7-104,1
16-Recreio	70,8	PM _{2,5}	09 (102)	52 (05/10/2012)	2,5 (10/2013)	30,0 (05/2018)	9,7 (2017)	18,6 (2018)	11,9±2,7	9,7-14,0
17-Santa Teresa	60,5	PTS	15 (151)	170 (10/06/2007)	23,0 (02/2005)	153,0 (09/2010)	38,7 (2004)	55,5 (2010)	47,0±5,0	44,0-49,7
18-São Cristóvão		PTS	14 (142)	410 (30/08/2004)	43,0 (12/2010)	204,5 (07/2015)	63,3 (2011)	137,5 (2014)	109,0±22,5	95,7-122,0
	52,1	PM ₁₀	15 (144)	191 (30/08/2014)	26,0 (05/2014)	116,5 (07/2006)	36,0 (2015)	70,4 (2001)	60,9±8,3	56,2-65,5
19-Sumaré		PTS	16 (155)	167 (13/08/2013)	16,0 (03/2009)	66,4 (08/2014)	22,5 (2006)	41,5 (2002)	34,6±4,8	32,0-37,2
	53,5	PM ₁₀	16 (154)	79 (14/05/2004)	6,0 (04/2014)	45,0 (06/2011)	19,1 (2013)	30,0 (2001)	23,3±3,0	21,6-24,8
20-Tijuca	77,6	PTS	16 (147)	181 (14/09/2001)	36,0 (04/2010)	118,4 (10/2002)	57,0 (2018)	88,5 (2015)	72,0±10,2	66,3-77,2
21-Maracanã		PTS	10 (102)	345 (25/07/2003)	26,0 (12/2012)	121,5 (07/2003)	40,5 (2012)	80,3 (2002)	64,4±13,4	54,7-74,0
	74,3	PM ₁₀	16 (157)	137 (25/07/2003)	16,6 (12/2015)	121,5 (10/2002)	32,0 (2015)	80,3 (2002)	45,8±13,3	38,6-52,9
		PM _{2,5}	09 (94)	53 (13/06/2011)	3,0 (10/2018)	29,0 (06/2011)	8,3 (2018)	15,1 (2011)	11,5±2,6	9,4-13,5
22-Urca	86,9	PM _{2,5}	06 (58)	44 (13/08/2013)	2,0 (02/2016)	21,1 (08/2013)	4,5 (2017)	11,8 (2014)	8,6±2,7	5,8-11,5

Nº anos e meses= número de anos e () meses aferidos, Pico máximo em 24 horas= máxima concentração atingida em 24 horas em qualquer mês de qualquer ano; Média mensal mínima = Menor das médias mensais em qualquer ano; Média mensal máxima = Maior das médias mensais em qualquer ano; Média anual mínima= valor mínimo das médias anuais; Média anual máxima= valor máximo das médias anuais; Média de todos os anos = Média das médias anuais de todos os anos, DP= Desvio Padrão (±); IC= Intervalo de Confiança; (µg/m³) =micrograma por metro cúbico.

Ressalte-se que, os moradores de Cidade de Deus foram expostos a uma concentração média de todos os anos de PM₁₀, 3,2 vezes maior comparado aos moradores de Sumaré. As concentrações médias de todos os anos de PM_{2,5} se mostraram acima entre 04% e 84% do PF anual (10,0 µg/m³) em todos os bairros medidos com exceção de Urca e Lagoa (8,6 e 9,5 µg/m³, respectivamente). No Caju, Castelo e Cidade de Deus se observou as maiores concentrações anuais desse poluente (15,2; 15,4 e 18,4 µg/m³, respectivamente). Valores entre 10,0 µg/m³ e 14,0 µg/m³ foram encontrados nos bairros de Copacabana, Recreio, Bangu, Maracanã, Engenho de Dentro e Ramos (10,4; 11,4; 11,5; 11,5; 13,8 e 14,0 µg/m³, respectivamente) figura 1c.

A maior concentração foi encontrada na Cidade de Deus a qual representava 2,1 vezes a concentração média de todos os anos de PM_{2,5} na Urca (8,6 µg/m³).

As maiores médias mensais máximas de PTS foram encontradas nos bairros de Castelo, Cidade de Deus, Realengo e São Cristóvão, todas acima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Concentrações médias mensais máximas abaixo de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram encontradas apenas no Sumaré ($66,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

As maiores médias mensais máximas das concentrações de PM_{10} ocorreram em Cidade de Deus, Bonsucesso, Maracanã e São Cristóvão ($159,0$; $128,0$; $121,5$ e $116,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). A menor média mensal máxima foi encontrada em Sumaré ($45,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

As maiores médias mensais máximas das concentrações de $\text{PM}_{2.5}$ foram observadas em Bangu, Caju e Cidade de Deus ($62,5$; $36,0$; $45,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), e as menores médias mensais máximas em Lagoa e Urca ($20,5$ e $21,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

As concentrações máximas de PTS em 24 horas foram ultrapassadas em São Cristóvão, Realengo, Maracanã, Castelo, Cidade de Deus, Benfica e Bonsucesso ($410,0$; $387,0$; $345,0$; $332,0$; $307,0$; $304,0$ e $271,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) uma violação de 13% a 71% o PF de 24h ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

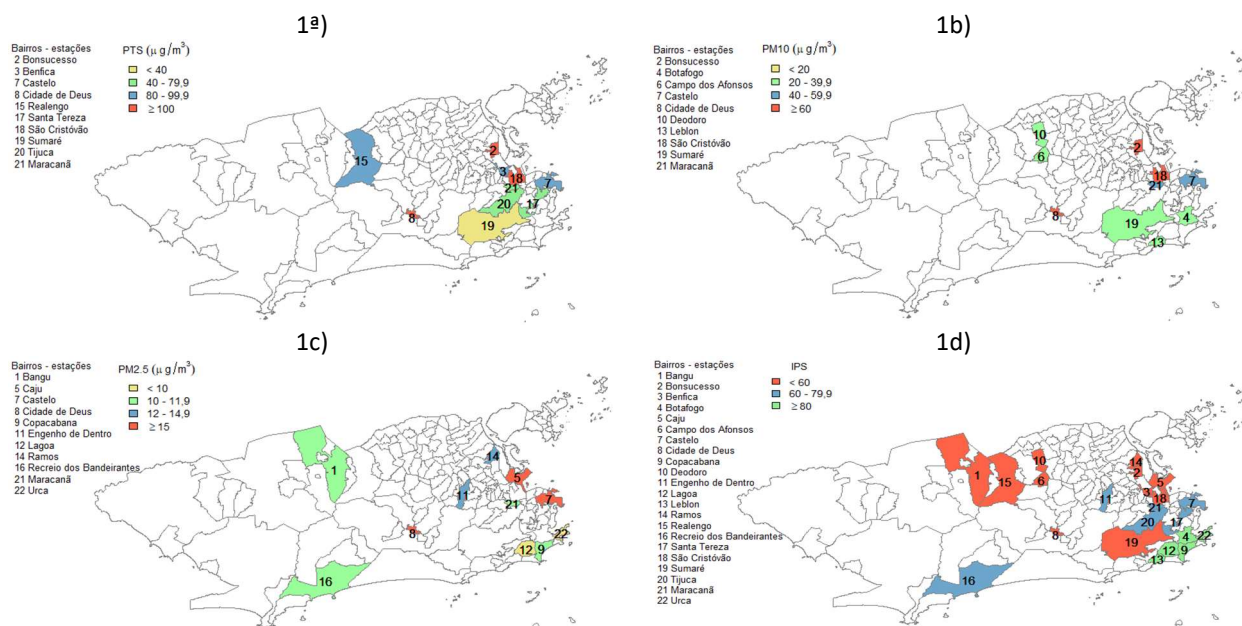


Figura 1: 1a) Distribuição das concentrações de PTS nos bairros do município do Rio de Janeiro; 1b) Distribuição das concentrações de PM_{10} nos bairros do município do Rio de Janeiro; 1c) Distribuição das concentrações de $\text{PM}_{2.5}$ nos bairros do município do Rio de Janeiro; 1d) Distribuição geográfica do IPS nos bairros do município do Rio de Janeiro.

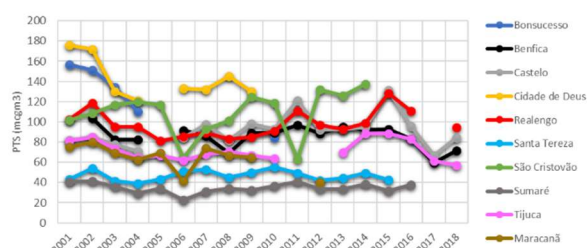
Todos os bairros apresentaram concentração máxima de PM_{10} acima do PF em 24 h ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão alcançaram concentrações máximas de PM_{10} em 24 horas de $314,0$; $263,0$ e $191,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Estes níveis estão entre 282% a 528% acima do PF recomendado. Botafogo, Castelo e Maracanã também apresentaram concentrações máximas em 24 horas de PM_{10} ($188,0$; $178,0$ e $157,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente) representando entre 214% a 276% acima do PF em 24h. As concentrações máximas em 24 h de $\text{PM}_{2.5}$ foram ultrapassadas em todos os bairros de acordo com o PF ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). As maiores concentrações foram registradas em Cidade de Deus, Engenho de Dentro, Copacabana, Bangu e Ramos ($89,0$; $87,0$; $81,0$; $68,0$ e $65,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), ultrapassando em até 256% o PF.

As figuras 2a, 2b e 2c mostram as variações nas concentrações médias anuais das partículas medidas

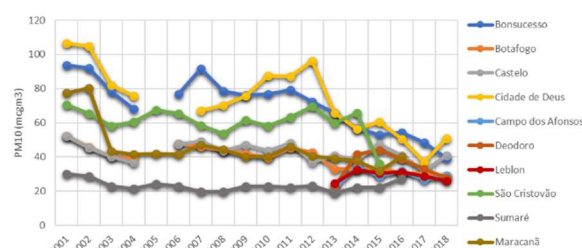
ao longo do período estudado. No período de 18 anos, constatou-se redução de PTS em todos os bairros, com maior expressão de queda na Cidade de Deus, Bonsucesso e Benfica, onde esses decréscimos alcançaram entre 35% a 87% das suas concentrações. Apenas o bairro de São Cristóvão apresentou aumento de 26% das concentrações conforme figura 2a.

Observou-se uma redução anual de PM_{10} em todos os bairros, no período de 2001 a 2018. A Cidade de Deus, Bonsucesso, Maracanã e São Cristóvão apresentaram quedas nas concentrações de MP, que variaram entre 141% a 94% (figura 2b). O Sumaré manteve estabilidade de valores de MP ao longo dos anos e menor concentração média anual. Houve aumento das concentrações entre 8% a 36% em Cidade de Deus, Recreio, Engenho de Dentro, no período (figura 2c). Nos bairros do Maracanã, Copacabana e Castelo, as quedas variaram entre 88% a 82%.

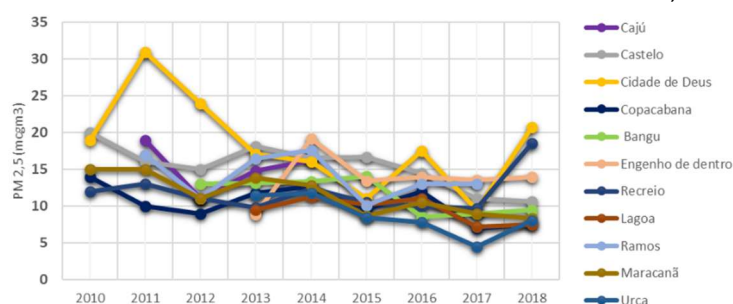
A distribuição do IPS nos bairros pode ser identificada por três grupos diferentes numa divisão ordinal e espacial do conjunto de variáveis socioeconômicas e de saúde no MRJ. O primeiro grupo é formado por cinco bairros com $IPS \geq 80$: Botafogo, Lagoa, Leblon, Urca, Copacabana. Todos localizados na zona sul da cidade. O segundo grupo, com IPS entre 60 e 79 é formado por 6 bairros: Tijuca, Maracanã, Recreio, Engenho de Dentro, Castelo e Santa Teresa. Três pertencem à zona norte, dois na zona central e um na zona oeste.



2a) Médias anuais de PTS nos bairros do Município do Rio de Janeiro, de 2001 a 2018.



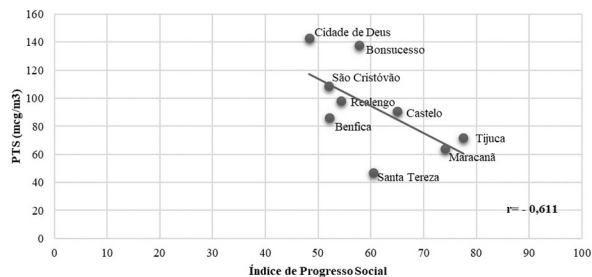
2b) Médias anuais de PM_{10} nos bairros do Município do Rio de Janeiro, de 2001 a 2018.



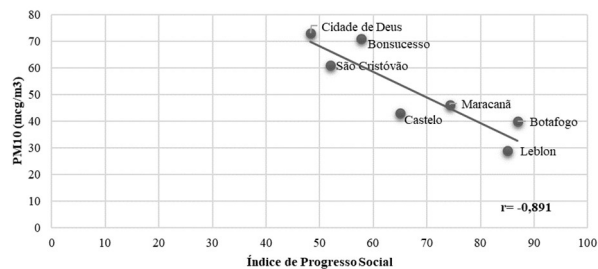
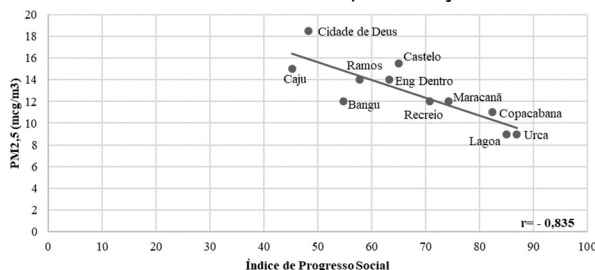
2c) Médias anuais de $PM_{2.5}$ nos bairros do Município do Rio de Janeiro, de 2009 a 2018.

Figura 2: Variabilidade das médias anuais de Material Particulado nos bairros do Rio de Janeiro - 2001 a 2018.

O terceiro grupo é formado por 11 bairros com IPS menor que 60: Bonsucesso, Ramos, Bangu, Deodoro, Realengo, Sumaré, Campos dos Afonsos, Benfica, São Cristóvão, Cidade de Deus e Caju. Cinco deles da zona oeste, três da zona norte e três da zona central. Sumaré, Campos dos Afonsos e Deodoro apresentam características peculiares já descritas (figura 1d).



3a) Correlação entre PTS e Índice de Progresso Social.

3b) Correlação entre PM₁₀, e Índice de Progresso Social.3c) Correlação entre PM_{2,5} e Índice de Progresso Social.**Figura 3:** Correlação entre os particulados e Índice de Progresso Social nos bairros do Rio de Janeiro.

As figuras 3a, 3b e 3c apresentam as correlações entre cada uma das frações do MP e o IPS dos bairros. Observa-se que, quanto maior o IPS menor as médias de MP. O PM₁₀ e PM_{2,5} apresentaram correlação inversa muito forte ($r = -0,891$ e $r = -0,835$), respectivamente. A correlação entre PTS e IPS foi de ($r = -0,611$). Note-se que para este particulado não havia medidas nos bairros de IPS acima de 80: Lagoa, Botafogo, Copacabana, Leblon e Urca.

A monitoração dos poluentes no meio urbano é uma forma de avaliar a qualidade do ar respirável possibilitando orientar as políticas de gestão governamentais direcionadas ao controle ambiental nos bairros (RUSSO, 2010). A localização das estações de monitoramento leva em consideração as variadas fontes poluidoras, como automóveis, indústrias e construções.

A distribuição espacial das estações de monitorização amplia o conhecimento da qualidade do ar, do vento, da temperatura e da umidade do ar em diferentes territórios no MRJ. Bairros de diferentes zonas geográficas apresentam enormes contrastes sociodemográficos e econômicos.

A qualidade do ar no MRJ demonstrou diferenças de variabilidade das concentrações entre os bairros durante o período dos 18 anos. Os bairros do Sumaré e Santa Teresa foram os de menores variações das concentrações médias de MP. Essas variações decorrem de influências ambientais no entorno de cada bairro. Um exemplo do contraste entre os bairros pode ser visto entre São Cristóvão e Santa Teresa, ambos localizados na zona central da cidade. O primeiro possui um complexo comercial-industrial, com intenso tráfego veicular enquanto que o segundo, fica situado no alto da serra da floresta da Tijuca (INEA, 2015).

Ao analisarmos as concentrações médias de cada MP em 18 anos, verificou-se que os PF foram ultrapassados em quase todos os bairros, descumprindo os índices estabelecidos pelo CONAMA. Os bairros, com as maiores concentrações médias de todos os anos, para qualquer dos particulados, foram: Cidade de Deus, Bonsucesso, São Cristóvão e Castelo, chegando a alcançar até 267% acima do PF anual para PM₁₀. As concentrações máximas em 24h na Cidade de Deus ultrapassaram em 28%, 256% e 528% os PF para PTS, PM_{2,5}, e PM₁₀, respectivamente.

De acordo com o CONAMA, os índices de qualidade do ar que ultrapassam os níveis do PF, podem desencadear efeitos em indivíduos suscetíveis (INEA, 2015), e também afetar a saúde daqueles sem comorbidades. Portanto, os habitantes da cidade do RJ têm convivido com qualidade do ar incompatível com a saúde e descumprindo a legislação ambiental e a Constituição de 1988, que estabeleceu a saúde como um “bem de acesso público” e direito universal (BRASIL, 1988).

Desde 1989 a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), alertava para a má qualidade do ar no RJ, revelando violações de 71% dos bairros monitorados no estado. Naquela época as estações de Bonsucesso e São Cristóvão já mostravam violações das concentrações de MP, indicando um problema recorrente (RUSSO, 2010). As altas concentrações de MP nestes bairros, pode ser explicada pelo dinamismo urbano do comércio local e intenso fluxo de veículos particulares, coletivos, e um grande quantidade de veículos pesados movidos a diesel que contribuem para alta carga de partículas em suspensão nestes bairros (RUSSO, 2010).

As menores concentrações médias de todos os anos de MP foram encontradas em Sumaré (zona Norte) e Santa Teresa (zona Central) e nos bairros do Leblon, Lagoa e Urca (zona Sul). Segundo a FEEMA, em relatórios desde de 1989, a menor concentração de MP era encontrada em Santa Teresa, o que corrobora com achados atuais. O Sumaré, atualmente com a menor concentração de poluentes, ainda não era monitorado (RUSSO, 2010).

Apesar do descumprimento quanto às concentrações dos particulados em quase todos os bairros, 78% deles demonstraram discretas reduções em 18 anos. Segundo Russo (2010), essas reduções são decorrentes de planos urbanísticos e reformulações de áreas outrora poluídas. Rodrigues et al. (2014), identificaram que a redução de MP no meio urbano foi influenciada pela redistribuição da malha viária urbana, inserção de área verde nos bairros e melhoria socioeconômica da população no MRJ.

As menores concentrações de $PM_{2.5}$ em áreas como a da zona sul do Rio de Janeiro, se deve a menor circulação de veículos a diesel e uma frota veicular modernizada nos bairros de Copacabana, Lagoa e Urca quando comparada com as estações localizadas em bairros ao longo de rodovias como avenida Brasil e linha vermelha, uma vez que o $PM_{2.5}$ tem relação direta com a proximidade de vias de grande circulação (RUSSO, 2010). A série histórica de monitorização do $PM_{2.5}$ iniciou sua instalação no MRJ somente a partir de 2009 (MARTINS et al., 2017).

As oscilações anuais das concentrações observadas nas figuras 2a nos bairros Realengo, Castelo e Benfica e na figura 2c em Cidade de Deus e Recreio são atribuídas à proximidade dessas estações das grandes obras de infraestrutura em função do Programa de Aceleração do Crescimento decorrentes da Copa do Mundo em 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016, como também pela topografia de cada bairro.

Os valores de IPS no MRJ evidenciam grandes disparidades sociodemográficas. A diferença entre o IPS do Caju (45,3) e de Botafogo (86,9) revela extrema desigualdade, onde um bairro tem aproximadamente o dobro de IPS do outro (PULICI et al., 2016). Ressalta-se que somente 23% da população destes bairros vivem em regiões com IPS superior a 80 pontos (Botafogo Urca, Lagoa, Leblon e Copacabana). Nesses bairros com altos IPS a poluição do ar apresentou menores concentrações, especialmente por PM_{10} e $PM_{2.5}$.

Rodrigues et al. (2014) ao analisar a estrutura socioeconômica e qualidade do ar nos bairros, verificou que, em áreas onde há desigualdade de renda, exclusão social e favelamento, as condições ambientais são piores, a exposição individual é maior, e o acesso a saúde desfavorável (RODRIGUES et al., 2014). Apesar da melhora social ao longo dos anos no MRJ, 20% das pessoas ainda vivem em extrema pobreza residindo em condições precárias de moradia, com diferentes níveis de exposição à qualidade do ar, e sobreposição de fatores de risco (IBGE, 2010; FORASTIERE et al., 2007).

Cidade de Deus, Bonsucesso, São Cristóvão, Benfica, Realengo, Ramos, Bangu e Caju são bairros com as maiores concentrações de MP e com IPS entre 40 e 59, indicando relação inversa das variáveis. Nestes bairros a proximidade do tráfego veicular também é observada (INEA, 2015).

Autores como Berg e Silveira propõe duas soluções para redução de poluentes e melhora da qualidade de vida. A primeira recomenda a implantação de espaços verdes em meio urbano, já que a distribuição no MRJ é desigual entre os bairros (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2015). Silveira et al. (2018), destacam em seu estudo, que o efeito protetor na redução da mortalidade foi de 8,6% em residentes dos setores mais verdes, mesmo com baixo desenvolvimento social. A segunda solução diz respeito a prática de atividades físicas em parques, praças e ruas arborizadas, que influenciam a saúde cardiovascular e mental, assim como reduz a morbimortalidade geral (SILVEIRA et al., 2018; BERG et al., 2015). Este incentivo pode ser um importante fator de proteção a saúde, conforme estudos ecológicos norte americanos e brasileiros, que constataram redução do risco de mortalidade por doenças cerebrovasculares em bairros que reduziram a poluição do ar e aumentaram a renda e o índice de vegetação (SOARES et al., 2013; HU et al., 2008; VILLENEUVE et al., 2012).

O estudo de Deguen et al. (2010), constataram que indivíduos com maior renda e melhor escolaridade, tem menor probabilidade de adoecimento e morte, comparado aos indivíduos com piores condições de vida, e também que, o baixo status socioeconômico tem levado os indivíduos a residirem em proximidades de grande tráfego de veículos e pior qualidade do ar, indicando que a condição social se associa ao fator de exposição (BROOK et al., 2010).

Campo dos Afonsos e Deodoro são territórios demarcados por um grande complexo militar, que também abrigam o polo olímpico, construído em 2014. Nessas áreas observa-se baixa ocupação residencial e aproximadamente 70% de espaço verde, com concentrações de poluentes reduzidas e pouco desenvolvimento socioeconômico (INEA, 2015). A monitorização prévia da qualidade do ar nestes locais foi uma recomendação tanto do comitê dos jogos olímpicos como também da Associação Americana do Coração (American Heart Association - AHA), que desaconselha exercícios intensos na presença de ar com qualidade insatisfatória (INEA, 2015; BROOK et al., 2010).

O bairro de Sumaré tem aspectos similares, localizado a 700m de altitude, na floresta da Tijuca, afastado de fontes poluidoras, com baixa circulação de veículos e poluentes. Seu baixo índice de habitação reflete seu IPS reduzido (INEA, 2015).

Forestieri et al. (2007), ressaltam risco aumentado de mortalidade por doença cardiovascular relacionada ao PM₁₀ em pessoas com menor renda e pior status socioeconômico e que residiam em áreas de

maior exposição ao tráfego veicular. Zhao et al. (2020) publicaram um estudo questionando enfaticamente, as concentrações de PM_{2.5} que seriam “seguros” à saúde, e se é possível alcançar nos dias atuais um ambiente livre de poluentes do ar.

Rodrigues et al. (2019) mostraram uma redução do Risco Relativo (RR) de -5,8%, em bairros com status socioeconômico alto, e distância do tráfego veicular acima de 150 m caracterizando um efeito protetor a saúde. O mesmo estudo também apontou aumento do RR de 4,60% para mortalidade por doenças do aparelho circulatório em residências com até 150m de proximidade do tráfego veicular e RR de 3,95% em áreas residenciais com baixo status socioeconômico.

A OMS recomenda que os padrões de qualidade do ar podem ser definidos com a realidade social, política e econômica de cada país, o que evidencia que a prioridade socioeconômica de países em desenvolvimento está acima da saúde (WHO, 2005). Esse posicionamento político é inaceitável. A Constituição Federal de 1988 estabelece que a proteção do meio ambiente está diretamente associada à defesa do direito fundamental à qualidade de vida, o que implica na manutenção e proteção da saúde humana (BRASIL, 1988). Desta maneira, o estabelecimento dos padrões de qualidade do ar, não devem ser regulados pela capacidade de avanço econômico territorial, e sim focado na avaliação dos riscos à saúde.

Segundo Rodrigues et al. (2019) a poluição atmosférica isoladamente não é a única causadora de doenças, mas é um importante fator adjuvante, ao lado de outros, como comorbidades, pobreza e injustiça social. As estações medidoras estão sujeitas a fenômenos meteorológicos e logísticos, como a falta de insumos e manutenção, que causam a perda de registros periódicos dos dados (GOUVEIA et al., 2006). Ampliar a monitorização da qualidade do ar, no MRJ pode ser um valioso instrumento de planejamento urbano e investimento ambiental para a saúde (IEMA, 2012).

CONCLUSÕES

A elevada variabilidade das concentrações de MP no MRJ em 18 anos demonstrou violações graves e constantes dos padrões anuais e diários recomendadas pelo CONAMA em todos bairros, tendo as maiores concentrações de MP nos bairros de Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão.

Mesmo com a redução das concentrações de MP em 78% dos 22 bairros analisados, os Padrões Finais ainda se mantem insatisfatórios para os padrões CONAMA de acordo com a nova resolução de 2018.

O fator socioeconômico medido pelo Índice de Progresso Social demonstrou relação forte e inversa com a poluição do ar por MP nas três frações mensuradas e em diferentes bairros do MRJ. As elevadas concentrações de MP em níveis superiores ao preconizado pelo CONAMA e mantidos por aproximadamente duas décadas no MRJ, indica sérias preocupações quanto à ocorrência de doenças evitáveis, mortes precoces e acometimento de indivíduos com maior suscetibilidade associadas às condições socioeconômicas, o que caracteriza grande injustiça social.

Cabe à sociedade exigir dos governantes providencias rápidas e duradouras para restauração da qualidade do ar no Rio de Janeiro associado a medidas que reduzam a desigualdade social.

REFERÊNCIAS

BERG, M. W.; POPPEL, M.; KEMPER, H.; MECHELEN, W.; MAAS J.. Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies. *Urban for Urban Green*, v.14, p.806-816, 2015.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: DOU, 1988.

BROOK, R. D.; RAJAGOPALAN, S.; POPE, C. A.; BROOK, J. R.; BROOK, A. B.; ROUX, A. V. D.. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *AHA Scientific Statement, Circulation*, v.12, p.2331-2378, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1>

CARVALHO, M. B. F.. **Poluição atmosférica e mudanças climáticas**. Tese (Doutorado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 491 de 19 de novembro de 18**. Sobre padrões de qualidade do ar. Brasília: DOU, 2018.

DEGUEN, S.; ZMIROU-NAVIER, D.. Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality: A European review. *European Journal Public Health*, v.1, p.27-35, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1093/eurpub/ckp220>

ROUX, A. V. D.; MUJAHID, M. S.; HIRSCH, J. A.; MOORE, K.; MOORE, L.. The Impact of Neighborhoods on cardiovascular risk: the MESA Neighborhood Study. *Global Heart*, v.11, p.353-363, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.gheart.2016.08.002>

FORASTIERE, F.; STAFIOGGIA, M.; TASCO, C.; PICCIOTTO, S.; AGABITI, N.; CESARONI, G.. Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality: Differential exposure or differential susceptibility. *American Journal of Industrial Medicine*, v.3, p.208-216, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1002/ajim.20368>

GBD. Global Burden Disease. Regional and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, v.8, p.1659-1724, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31679-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31679-8)

GBD. Global Burden Disease. Regional and National Comparative Risk Assessment of 84 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks for 195 Countries and Territories, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*, v.10, p.1923-1994, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32225-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32225-6)

GOUVEIA, N.; FREITAS, C. U.; MARTINS, L. C.; MARCILIO, I. O.. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, v.12, p.2669-2677, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2006001200016>

HU, Z.; LIEBENS, J.; RAO, K. R.. Linking stroke mortality with air pollution, income, and greenness in northwest Florida: an ecological geographical study. *International Journal of Health Geographics*, v.7, p.20, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1186/1476-072X-7-20>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. **População residente, por grupos de idade e sexo, segundo as Áreas de Planejamento, Regiões Administrativas (RA) e Bairros**: Município do Rio de Janeiro – 2010. IBGE, 2010.

IEMA. Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia**. São Paulo: IEMA, 2012.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório de qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro**. Ano base de 2015. Gerência de qualidade do ar (GEAR). INEA, 2015.

MACIEL, M. A.; VARELLA, M. D.. O direito internacional ambiental como sistema complexo: características, metodologias e instrumentos de análise. *Revista Veredas do Direito*, v.13, n.26, p.235-261, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18623/rvd.v13i26.764>

MARTINS, E. M.; MEIRELES, A. R.; MAGALHAES, F. R.; CARVALHO, J. B. B.; RIBEIRO, M. M.. Concentrações de poluentes atmosféricos no Rio de Janeiro em relação a normas nacionais e internacionais. *Revista internacional de ciências*, v.7, p.32-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2017.25799>

NUVOLONE, D.; BALZI, D.; CHINI, M.; SCALA, D.; GIOVANNINI, F.; BARCHIELLI, A.. Short-Term Association Between Ambient Air Pollution and Risk of Hospitalization for Acute Myocardial Infarction: Results of the Cardiovascular Risk and Air Pollution in Tuscany (RISCAT) Study. *American Journal of Epidemiology*, v.1, p.63-71, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1093/aje/kwr046>

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Plano diretor de Arborização Urbana da Cidade do Rio de Janeiro**. Parques e Jardins. Rio de Janeiro: DOE, 2015.

PULICI, A.; MOURA, D. C.; MOSANER, M. S.. **Índice de Progresso Social no Rio de Janeiro (IPS) 2016**. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos, 2016.

RODRIGUES, P. C. O.; IGNOTTI, E.; HACON, S. S.. Fatores socioeconômicos aumentam os efeitos nocivos da poluição atmosférica e da temperatura na mortalidade. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v.22, n.1, p.11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-549720190011>

RUSSO, P. R.. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. *Revista de Ciências Humanas*, Rio de Janeiro, v.1, p.78-93, 2010.

SEGALIN, B.; KUMAR, P.; MICADEI, K.; FORNARO, A.; GONÇALVES, F. L. T.. Size-segregated particulate matter inside residences of elderly in the Metropolitan Area of Sao Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, v.148, p.139-151, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.10.004>

SILVEIRA, I. H. D.; JUNGER, W. L.. Green spaces and mortality due to cardiovascular diseases in the city of Rio de Janeiro.

Revista de Saúde Pública, v.52, p.49, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2018052000290>

SOARES, G. P. E. A.; BRUM, J. D.; OLIVEIRA, G. M. M.; KLEIN, C. H.; SILVA, N. A. S.. Evolução de indicadores socioeconômicos e da mortalidade cardiovascular em três estados do Brasil. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v.100, p.147-156, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.5935/abc.20130028>

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER J. L.. **Ecologia de Indivíduos a Ecossistemas**. 4 ed. São Paulo: Artmed, 2007.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. National center for environmental assessment.

Environmental media assessment group; Sacks, J. **Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter**. USEPA, 2009.

VILLENEUVE, P. J.; JERRETT, M.; SU, J. G.; BURNETT, R. T.; CHEN, H.; WHEELER, A. J.. A cohort study relating urban green space with mortality in Ontario, Canada.

Environmental research, v.115, p.51-8, 2012. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.envres.2012.03.003>

WHO. World Health Organization. **Air quality guidelines: global update 2005**. Report on a Working Group meeting. WHO, 2015.

XU, M.; GUO, Y.; ZHANG, Y.; WESTERDAHL, D.; MO, Y.; LIANG, F.. Spatiotemporal analysis of particulate air pollution and ischemic heart disease mortality in Beijing, China.

Environmental Health, v.13, n.1, p.109, 2014. DOI:

<http://doi.org/10.1186/1476-069X-13-109>

ZHAO, B.; JOHNSTON, F. H.; SALIMI, F.; KURABAYASHI, M.; NEGISHI, K.. Short-term exposure to ambient fine particulate matter and out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide case-crossover study in Japan. **The Lancet**, v.1, p.15-23, 2020.

DOI: [http://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30262-1](http://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30262-1)

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.