

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DE
ECOSSISTEMAS COSTEIROS E MARINHOS
MESTRADO EM ECOLOGIA

NICOLAU TEIXEIRA RAMOS

O IMPACTO DA QUALIDADE DO AR SOBRE A SAÚDE
CARDIORRESPIRATÓRIA DE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS

SANTOS

2023

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE DE
ECOSSISTEMAS COSTEIROS E MARINHOS
MESTRADO EM ECOLOGIA

NICOLAU TEIXEIRA RAMOS

O IMPACTO DA QUALIDADE DO AR SOBRE A SAÚDE
CARDIORRESPIRATÓRIA DE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS

Dissertação apresentada à
Universidade Santa Cecília como parte
dos requisitos para obtenção de título
de Mestre em Ecologia, no Programa
de Pós-Graduação em Sustentabilidade
de Ecossistemas Costeiros e Marinhos,
sob a orientação da Profa. Dra. Débora
Dias Ferraretto Moura Rocco.

SANTOS

2023

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

XXX.XXXX Ramos, Nicolau Teixeira.

XXXx O impacto da qualidade do ar sobre a saúde cardiorrespiratória de indivíduos saudáveis.

Nicolau Teixeira Ramos –

2023.

37f.

Orientador: Profa. Dra. Débora Dias Ferraretto Moura Rocco.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Santos, SP, 2023.

1. Poluição atmosférica. 2. Saúde. 3. Sistema respiratório.

I. Dias Ferraretto Moura Rocco, Débora.

II. O impacto da qualidade do ar sobre a saúde cardiorrespiratória de indivíduos saudáveis.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família, meus pais e a minha madrinha e especialmente minha esposa que me apoiou neste e em todos os projetos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Prof. Dr. Débora Rocco pela orientação, dedicação e respeito por mim neste Dissertação sem ela isso seria impossível e também ao meu Co-orientador Prof. Dr. Alexandre Galvão, Professor dedicado a pesquisa e docência no ensino superior.

Ao Laboratório de Fisiologia do exercício da Faculdade de Educação Física da Universidade Santa Cecília (UNISANTA) pelo apoio a pesquisa feita nesta dissertação.

Aos colegas Professores que me ajudaram neste Mestrado. Dr. Luciana Guimarães e Dr. Fábio Giordano.

Aos meus Professores das disciplinas do Mestrado e aos Coordenadores Prof. Dr. Ursulla Pereira Souza e Prof. Dr. Camilo Dias Seabra Pereira e ao Diretor do Programa de Stricto Sensu da Universidade Santa Cecília Prof. Dr. Marcos Tadeu. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Agradeço a Universidade Santa Cecília (UNISANTA) na figura sua magnifica Reitora Prof. Dr. Sílvia Ângela Teixeira Penteado e a toda família Teixeira pela bolsa integral no Programa de Mestrado.

Sou eternamente grato a todos por este apoio na minha formação.

"A Educação é maior ferramenta de transformação do ser humano "

“Per Gratiam Dei. ”

EPÍGRAFE

"A melhor maneira de prever o futuro é cria - lo."
(Abraham Lincoln)

"Dei est maximus."

RESUMO

É notório o aumento da poluição atmosférica nas últimas décadas, principalmente nos centros urbanos, onde houve um processo desordenado de industrialização e de crescimento populacional. Moradores de centros urbanos são expostos a poluentes que influenciam negativamente sistemas orgânicos, primordialmente o cardiorrespiratório. Já os residentes de áreas costeiras desfrutam de meio ambiente mais limpo. Nosso objetivo foi avaliar a influência de diferentes concentrações de poluentes atmosféricos sobre variáveis respiratórias durante teste de esforço máximo. Foram avaliados 80 homens, idade a partir de 40 anos, divididos em 2 grupos: Residentes de São Paulo, Grupo 1 e residentes da Baixada Santista, Grupo 2. Os participantes realizaram teste cardiorrespiratório, determinando seu nível de condicionamento físico (VO_{2max}) e as variáveis: equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO_2), ventilação pulmonar (VE) e equivalente ventilatório de oxigênio (V/VO_2). Os dados foram apresentados em média \pm desvio padrão. O STATISTIC 9.0 foi utilizado para as análises e o teste aplicado foi de variância de um caminho para comparação dos dados respiratórios entre os grupos. Os resultados obtidos demonstraram que os grupos foram similares no consumo de oxigênio pico: Grupo 1= $17,5 \pm 0,04$ ml/kg/min e Grupo 2, $18,3 \pm 0,08$ ml/kg/min. O Grupo 1 apresentou respostas ventilatórias alteradas durante o teste cardiorrespiratório quando comparados ao Grupo 2: ($VE=80 \pm 0,3$ ml e $VE=70 \pm 0,2$ ml, $p=0,004$), ($VE/VCO_2=35,7 \pm 0,3$ unidades e $VE/VCO_2=31,7 \pm 0,1$ unidades, $p=0,003$) e ($V/VO_2=36,5 \pm 0,2$ unidades e $V/VO_2=31,6 \pm 0,1$ unidades, $p=0,03$). Os dados obtidos no presente estudo revelaram que os indivíduos residentes em São Paulo apresentam eficiência respiratória diminuída quando comparada aos moradores de região costeira durante teste de esforço máximo.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Saúde; Sistema respiratório.

ABSTRACT

THE IMPACT OF AIR QUALITY ON THE CARDIORESPIRATORY HEALTH OF HEALTHY INDIVIDUALS

The increase in air pollution in recent decades is notorious, especially in urban centers, where there has been a disorderly process of industrialization and population growth. Residents of urban centers are exposed to pollutants that negatively influence organic systems, primarily the cardiorespiratory system. Residents of coastal areas enjoy a cleaner environment. Our objective was to evaluate the influence of different concentrations of atmospheric pollutants on respiratory variables during maximal stress test. Eighty men aged 40 years and over were evaluated, divided into 2 groups: Residents of São Paulo, Group 1 and residents of Baixada Santista, Group 2. Participants underwent a cardiorespiratory test, determining their physical fitness level (VO_{2max}) and the variables: ventilatory equivalent of carbon dioxide (VE/VCO_2), pulmonary ventilation (VE) and ventilatory equivalent of oxygen (V/VO_2). Data were presented as mean \pm standard deviation. STATISTIC 9.0 was used for the analysis and the one-way variance test was applied to compare respiratory data between groups. The results obtained in the present study showed that the groups were similar in peak oxygen consumption: Group 1= 17.5 ± 0.04 ml/kg/min and Group 2, 18.3 ± 0.08 ml/kg/min. Group 1 presented altered ventilatory responses during the cardiorespiratory test when compared to Group 2: ($VE=80 \pm 0.3$ ml and $VE=70 \pm 0.2$ ml, $p=0.004$), ($VE/VCO_2=35.7 \pm 0.3$ units and $VE/VCO_2=31.7 \pm 0.1$ units, $p=0.003$) and ($V/VO_2=36.5 \pm 0.2$ units and $V/VO_2=31.6 \pm 0.1$ units, $p=0.03$). Data analysis in the present study revealed that individuals residing in São Paulo have decreased respiratory efficiency when compared to residents of coastal regions during maximal effort test.

Keywords: Atmospheric pollution; Health; Respiratory system,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Valores comparativos da ventilação (VE) entre os grupos, obtidos através da ergoespirometria.....	12
Figura 2.	Valores comparativos do equivalente ventilatório de O ₂ (VE/VO ₂) entre os grupos, obtidos através da ergoespirometria.....	13
Figura 3.	Valores comparativos do equivalente ventilatório de CO ₂ (VE/VCO ₂) entre os grupos obtidos, através da ergoespirometria.....	13
Figura 4.	Níveis de concentrações de MP _{2,5} , segundo dados da CETESB entre os anos de 2015 a 2019 para as Cidades de São Paulo e Santos.....	14
Figura 5.	Níveis de concentrações de MP ₁₀ , segundo dados da CETESB entre os anos de 2015 a 2019 para as Cidades de São Paulo e Santos.....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características da amostra estudada.....	12
-----------	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAAE - Certificado de Apresentação de Apreciação Ética

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

IMC - Índice de Massa Corporal

OMS - Organização Mundial da Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	-	dióxido de carbono
cm	-	centímetro
km	-	quilômetro
FR	-	frequência respiratória
m ²	-	metro quadrado
m ³	-	metro cúbico
mL	-	mililitro
MP	-	material particulado atmosférico
PetCO ₂ mmHg	-	pressões expiratórias finais de dióxido de carbono
PetO ₂ mmHg	-	pressões expiratórias finais de oxigênio
RER	-	razão da troca respiratória
VE	-	ventilação pulmonar
V/VO ₂	-	equivalente ventilatório de oxigênio
VE/VCO ₂	-	equivalente ventilatório de dióxido de carbono
µg/m ³	-	Microgramas por metro cúbico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	02
1.1.1 MONÓXIDO DE CARBONO.....	02
1.1.2 DIÓXIDO DE ENXOFRE.....	03
1.1.3 OZÔNIO.....	03
1.1.4 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO.....	03
1.1.5 MATERIAL PARTICULADO.....	04
1.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E DOENÇAS CRÔNICAS.....	04
1.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E EXERCÍCIO FÍSICO.....	05
1.4 ASPECTOS QUE INFLUENCIAM NA SAÚDE HUMANA.....	08
2. OBJETIVO.....	08
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	09
3.1 AMOSTRA.....	09
3.2 ANAMNESE GERAL.....	09
3.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA.....	09
3.4 ERGOSPIROMETRIA.....	10
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	11
3.6 ABORDAGEM.....	11
4. RESULTADOS.....	11
5. DISCUSSÃO.....	15
6. CONCLUSÃO.....	17
7. ARTIGO PUBLICADO.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

Definida como a existência de substâncias estranhas na atmosfera, a poluição atmosférica pode ser resultante tanto da atividade humana como de processos naturais, que em concentrações suficientes afeta direta ou indiretamente a saúde e a segurança dos seres vivos (ELSON, 1992). Atualmente, a poluição atmosférica é um problema comum à maioria das sociedades, principalmente das grandes metrópoles, de áreas com alto índice de urbanização (FIORE *et al.*, 2012).

Após a revolução industrial, a partir de 1940, as descobertas científicas, a evolução da tecnologia e da comunicação tiveram grande impacto nas mudanças do estilo de vida da humanidade. É notório que uma delas foi o aumento do número de automóveis circulantes principalmente nas grandes metrópoles, aumentando assim o número de poluentes lançados na atmosfera devido à queima de combustíveis fósseis. Afora isso, as próprias atividades humanas, como o trabalho em usinas termoelétricas e nas indústrias, contribuem negativamente para a degradação do meio ambiente (DE MASI, 2001).

No Brasil, a política pública ambiental visa proteger o ambiente para garantir a qualidade de vida da sociedade (SALHEB *et al.*, 2009). Dentre as medidas mais importantes tomadas pelo Ministério do Meio Ambiente, destaca-se a criação do Plano Nacional de Qualidade do Ar, em 2009. Para a melhora da qualidade do ar, o Plano tem como principais linhas de ação, a redução e monitoramento de emissões geradas pelo setor de transportes, indústria, serviço e pelas atividades agrossilvopastoris, além da integração de políticas de desenvolvimento urbano, transporte, saúde e qualidade do ar (MMA, 2009).

Outros programas para fontes específicas de poluição atmosférica foram desenvolvidos, como o Programa de Controle de Poluição do Ar Por Veículos Automotores, o Programa de Controle de Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares e o apoio aos Estados para a elaboração dos Planos de Controle de Poluição Veicular e dos Programas de Inspeção e Manutenção Veicular, conforme Resolução CONAMA nº 418/2009 (MMA, 2014). Em conformidade, a Prefeitura de São Paulo vem investindo na implantação e ampliação da infraestrutura cicloviária, a fim de minimizar os crescentes problemas de congestionamento e a prejudicial emissão de gases poluentes (CET, 2012).

Além do impacto causado no meio ambiente, a poluição atmosférica atinge a economia. Em 2014, pesquisadores investigaram diversas regiões metropolitanas brasileiras e a partir de estimativa totalizou-se 20.050 óbitos. O custo dessas mortes prematuras resultou em US\$ 1,7 bilhão anualmente, o equivalente a 2% do orçamento do Ministério da Saúde daquele ano. Nesse sentido, é fundamental que os esforços estejam voltados para a implantação de políticas públicas para redução da emissão de poluentes na atmosfera.

Embora a poluição atmosférica geralmente acompanhe as grandes metrópoles, em se tratando de cidades litorâneas, foi constatado que o município de Santos apresentou boa qualidade do ar, talvez pelo fato do tráfego de veículos motorizados não ser tão alto como na região metropolitana de São Paulo e, além disso, a imensa área de vegetação que constitui a Serra do Mar pode favorecer a região. Já em Cubatão, outra cidade da Baixada Santista, conhecida por sua importante relevância nacional no setor industrial, apresentou altas concentrações de poluentes em função das atividades do polo industrial cujos níveis destes são semelhantes aos observados na região metropolitana do Estado (CETESB, 2015).

1.1 PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Os poluentes podem ser classificados em primários ou secundários. Os poluentes primários são diretamente emitidos da fonte de emissão, como os gases provindos das indústrias, dos escapamentos e motores dos automóveis, dos aterros sanitários, dentre outros (MOTA, 2006). Por outro lado, os poluentes secundários consistem nas reações dos poluentes primários na atmosfera e frações da radiação solar, como a decomposição de óxidos de nitrogênio pela radiação ultravioleta oriunda do sol na formação de ozônio e nitratos de peroxiacetila (BROOK *et al.*, 2010).

Os poluentes atmosféricos mais comuns são monóxido de carbono, dióxido de enxofre, ozônio, óxidos de nitrogênio e material particulado (BRAVO *et al.*, 2016).

1.1.1 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono é altamente perigoso devido sua grande toxicidade, sendo proveniente da combustão incompleta de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão mineral (CANÇADO *et al.*, 2006).

Quando inalado acima dos níveis considerados toleráveis, pode provocar complicações respiratórias e até mesmo asfixia. Tal fato se justifica já que este gás possui uma afinidade pela hemoglobina 250 vezes maior que o oxigênio, fazendo com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de hemoglobina (FOSS e KETAYIAN, 2000). Dessa forma, o transporte de oxigênio para as células fica comprometido, limitando a capacidade funcional do organismo, prejudicando o desenvolvimento de atividades do cotidiano (BLEECKER, 2015).

1.1.2 Dióxido de enxofre

O dióxido de enxofre, produzido pela queima de combustíveis fósseis, quando expelido na atmosfera pode se estender para pontos distantes de onde foi emitido, o que agrava ainda mais a poluição no meio ambiente. Ao ser inalado, grande parte do dióxido de enxofre é absorvida nas vias aéreas superiores, podendo desencadear alergias agudas nessas estruturas, além de ser um poluente onipresente, estando relacionado à neurotoxicidade e ao aumento do risco de hospitalização por distúrbios cerebrais (CANÇADO *et al.*, 2006; YAO *et al.*, 2015).

1.1.3 Ozônio

O gás ozônio é o resultado de diversas reações fotoquímicas de poluentes com os raios ultravioletas, abrangendo óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos, decorrentes da fumaça produzida pelos motores de combustão, usinas termoelétricas e indústrias, além de outras fontes como a máquina fotocopadora e o purificador de ar (CANÇADO *et al.*, 2006). O ozônio é citotóxico, oxidante e muito nocivo ao sistema respiratório, tanto que a ocorrência de crises de asma torna-se mais frequentes, assim como os sintomas de doença pulmonar obstrutiva crônica se intensificam nos indivíduos portadores (CETESB, 2010).

1.1.4 Óxidos de nitrogênio

Emitidos majoritariamente pelos motores de automóveis, o óxido nítrico e o dióxido de nitrogênio aumentam a sensibilidade à asma e à bronquite, provocando também lesões celulares e, em casos mais graves, a ocorrência de hemorragia alveolar, insuficiência respiratória e edema pulmonar (CETESB, 2000). Weinmayr *et*

al. (2015) sugerem que a exposição a longo prazo aos óxidos de nitrogênio pode ter relação com a incidência de diabetes tipo 2.

1.1.5 Material particulado

Composto por partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar e proveniente da queima de combustíveis fósseis, materiais da crosta terrestre, metais e poeira, o material particulado está associado a uma série de efeitos agudos adversos, incluindo o aumento da morbidade e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, assim como o aumento de mortes prematuras e diminuição da expectativa de vida (ANDERSON *et al.*, 2012; KREWSKI, 2009; POPE *et al.*, 2009).

1.2 Poluição atmosférica e doenças crônicas

Crescentes evidências indicam que a poluição atmosférica tem contribuído para o desenvolvimento e progressão de doenças cardiovasculares e respiratórias nas últimas décadas, porém os mecanismos relevantes subjacentes a este fenômeno ainda não são conclusivos (VADUGANATHAN *et al.*, 2016; GOLSHAHI *et al.*, 2016; GHARIBVAND *et al.*, 2016).

Sabe-se que a poluição atmosférica pode causar hipertensão arterial, arritmias, trombose, aterosclerose, infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca. Pesquisadores afirmam que os poluentes exercem seus efeitos nocivos sobre o coração através do desenvolvimento de inflamação pulmonar e sistêmica, estresse oxidativo, disfunção endotelial e alterações pró-trombóticas (MEO e SURAYA, 2015).

Nesse sentido, Michikawa *et al.* (2016) notaram que a alta exposição a poluentes gerou um aumento da proteína C-reativa e na contagem de glóbulos brancos, indicando que a inflamação sistêmica pode desempenhar um papel na ligação entre partículas e risco de doença cardiovascular. Viehmann *et al.* (2015) defende esta hipótese a partir de seus achados, onde foi verificado um aumento na proteína C-reativa e na contagem de plaquetas em sujeitos expostos à poluição a longo prazo.

Por outro lado, o sistema respiratório é um dos mais afetados em razão da resposta inflamatória e aumento do estresse oxidativo propiciado pela exposição, sendo que os poluentes favorecem uma disfunção do mecanismo de defesa

mucociliar, provocando infecções no trato respiratório e ao longo do tempo o desenvolvimento de doença pulmonar obstrutiva crônica e câncer de pulmão (CANÇADO *et al.*, 2006; STRAK *et al.*, 2012; ANDERSON *et al.*, 2012).

Segundo Vieira *et al.* (2012) tanto pessoas saudáveis como aquelas que apresentam patologias prévias são afetadas pelos efeitos nocivos da poluição. Entretanto, alguns indivíduos são mais sensíveis do que outros aos poluentes, como é o caso de crianças e idosos, além daqueles com problemas de saúde como asma, doenças cardiovasculares e pulmonares, que acabam sofrendo mais com os efeitos da poluição.

1.3 Poluição atmosférica e exercício físico

Os benefícios do exercício físico na melhora da saúde de pessoas de todas as idades já estão bem evidenciados na literatura científica (MACEDO *et al.*, 2012). A prática regular de exercício é capaz de retardar o desenvolvimento de muitas das alterações orgânicas que se associam ao processo natural e degenerativo do envelhecimento, como as doenças crônicas, aumentando assim a longevidade com qualidade de vida (KOKKINOS e MYERS, 2010; THORNTON *et al.*, 2016).

Além das consequências negativas para o meio ambiente, a evolução científica e tecnológica predispôs o homem à inatividade física. Cerca de 30% dos adultos em todo o mundo são sedentários e relatam não possuir tempo para se exercitar (HALLAL *et al.*, 2012). Na Europa, pesquisadores verificaram que a população ativa tem tempo livre apenas por estar desempregada, aposentada ou possuir renda financeira favorável (MARQUES *et al.*, 2016).

Devido à urbanização desenfreada e quase metade da população mundial viver em zonas urbanas, nota-se que além de existir pouco espaço verde disponível, a qualidade do meio ambiente está declinando cada vez mais, comprometendo negativamente a prática sadia de exercício físico nestes locais (GLADWELL *et al.*, 2013; GIORGINI *et al.*, 2015).

Estima-se que o crescimento da população mundial nas áreas urbanas alcançará aproximadamente 72% até 2050 (UN, 2012). Sendo assim, podemos inferir que o exercício físico será cada vez mais praticado em ambientes que expõe os indivíduos à poluição (GILES e KOEHLE, 2014). Em 2012, metade da população americana, equivalente a 141,9 bilhões de pessoas, participou de atividades ao ar

livre, assim como 72% dos canadenses afirmaram ter feito o mesmo (OUTDOOR FOUNDATION, 2013; STATISTICS CANADA, 2015).

Algumas pessoas têm optado por se exercitar em ambientes fechados, como salas de musculação, enquanto outras são adeptas de atividades ao ar livre, como a caminhada. Pesquisadores apontaram que se exercitar em ambientes naturais parece ser mais favorável para a saúde mental quando comparado a ambientes fechados, além dos outros benefícios propostos pelo exercício físico já catalogados (THOMPSON *et al.*, 2011; MUTZ e MÜLLER, 2016). O contato com a natureza é um fator importante na promoção da saúde, já que espaços verdes influenciam positivamente na qualidade do sono, no humor e na autoestima, reduzindo a tensão (FERREIRA *et al.*, 2014; BARTON e PRETTY, 2010).

Entretanto, a poluição atmosférica pode afetar negativamente quem se exercita ao ar livre, seja em parques, ruas ou orlas marítimas. Apesar dos parques públicos serem locais privilegiados para a prática de exercício físico, Silva *et al.* (2009) mostraram que 73,2% da amostra reportaram a poluição atmosférica como uma barreira para a prática de exercício físico nestes espaços. Tais locais, geralmente, estão localizados próximos às vias em que o movimento de automóveis é demasiado, expondo os praticantes a uma elevada taxa de gás carbônico (AZEVEDO *et al.*, 2008).

Em 2014, no relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental registrou que o parque público Ibirapuera, uma área verde com 1,1 milhão de m², apresentou péssima qualidade do ar, com um índice de ozônio de 200 µg/m³ (CETESB, 2015). Como o ozônio é constituído pela reação química que abrange resíduos da queima de combustível estimulada pelos raios solares, concentrações elevadas deste poluente podem ser justificadas pelo fato do parque estar localizado numa área de grande exposição ao sol e próxima a avenidas onde o fluxo de veículos é muito grande.

Estudos bem conduzidos têm demonstrado, consistentemente, que indivíduos praticantes de exercício físico, em ambientes poluídos, apresentam maior risco de morbidade respiratória, cardiovascular, infecciosa, câncer pulmonar, além do agravamento de doenças crônicas (MARTINS *et al.*, 2002; POPE *et al.*, 2002). É possível que o aumento na absorção respiratória, deposição de partículas nos pulmões e toxicidade dos poluentes inalados durante o exercício em relação ao

repouso seja o responsável pelos malefícios em se exercitar num entorno poluído (JACOBS *et al.*, 2010; PATEL *et al.*, 2011; STRAK *et al.*, 2010).

Pesquisadores canadenses mensuraram a relação entre a poluição do ar, espirometria, pressão arterial e capacidade de exercício em 5.604 indivíduos. Os achados indicaram que a exposição a altas concentrações de poluentes atmosféricos foi associada com o aumento da pressão arterial e frequência cardíaca (CAKMAK *et al.*, 2011). Em mulheres saudáveis também foi demonstrado que a exposição à poluição atmosférica associada ao tráfego intenso pode ter contribuído para alterações agudas na pressão arterial durante o exercício físico (WEICHENTHAL *et al.*, 2014).

Corroborando, Liu *et al.* (2008) compararam a influência de poluentes atmosféricos em trabalhadores de uma área altamente poluída e trabalhadores de uma região menos poluída. Os autores verificaram que níveis elevados de poluição diminuem a capacidade funcional humana, provavelmente devido ao baixo nível de transporte de oxigênio nos alvéolos pulmonares. Kargarfard *et al.* (2015) ratificaram que a exposição aguda a altas concentrações de poluentes durante o exercício resulta em declínio das funções cardiovasculares e parâmetros hematológicos em indivíduos saudáveis.

Em relação à repercussão no sistema cognitivo humano, diversos pesquisadores afirmam que a exposição a partículas poluentes tem sido associada a efeitos adversos no cérebro, como declínio cognitivo e neuropatologia. A inflamação e o estresse oxidativo parecem desempenhar um papel importante na indução destes efeitos para a saúde (BLOCK E CALDERÓN-GARCIDUENÑS, 2009; GENC *et al.*, 2012). Corroborando, Bos *et al.* (2013) constataram que a poluição interferiu negativamente no tempo de reação e de raciocínio de indivíduos saudáveis.

Recentemente pesquisadores têm mostrado que mesmo em ambientes altamente poluídos, os benefícios do exercício físico se fazem presentes (ANDERSEN *et al.*, 2015; GIORGINI *et al.*, 2016). Tainio *et al.* (2016) comprovaram que os efeitos provindos do ciclismo e da caminhada superam os riscos que a poluição atmosférica oferece, e, portanto, devem ser encorajados, levando em consideração o histórico de saúde de cada indivíduo.

A partir da atual conjuntura, verifica-se que mudanças nos meios de transporte são fundamentais, haja vista que os veículos motorizados são a principal fonte de poluição. Dessa forma, além de reduzir os níveis de poluentes lançados no ar, o

homem melhorará sua qualidade de vida evitando o estresse proporcionado pelos tráfegos intensos e característicos de zonas urbanas, por meio da prática de exercício físico regular.

1.4 ASPECTOS QUE INFLUENCIAM NA SAÚDE HUMANA

Ao longo da evolução, a relação entre o homem e o planeta mudou em diferentes aspectos. Atualmente, mais da metade da população mundial vive em zonas urbanas (UN, 2014). As ações antrópicas, principalmente no meio urbano, como o uso de combustíveis fósseis em larga escala, destruição de áreas verdes para construção de moradias e edifícios, produção de resíduos pelo consumo exacerbado de bens materiais têm implicações na própria saúde humana (STEFFEN *et al.*, 2004). A tendência em relação à crescente urbanização é o aumento gradativo dos casos de doenças relacionadas à falta de saneamento básico, por agentes infecciosos, bem como por poluentes químicos e atmosféricos (DAILY E EHRLICH, 1996; PIMENTEL *et al.*, 2007). A saúde das populações humanas é, sobretudo, um produto da interação da sociedade com o meio ambiente em geral (MCMICHAEL, 2001).

A importância de praticar cronicamente exercício físico é unânime, por outro lado, evidências demonstram que quando realizado em ambiente poluído o exercício físico pode trazer malefícios à saúde comparados aos do próprio sedentarismo, que é considerado como um fator de risco para doenças crônicas. Nota-se que a saúde é determinada por diversos fatores, desde os hábitos de vida à influência do meio em que o indivíduo se encontra. Sendo assim, são necessárias investigações como esta, que se propõe a analisar o papel do meio ambiente sobre o estado geral de saúde dos indivíduos.

2. OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo comparar a influência da poluição atmosférica sobre variáveis ventilatórias e cardiovasculares entre moradores da cidade de São Paulo e da Baixada Santista.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostra

Foram avaliados 80 homens adultos, com idade a partir de 40 anos, que foram divididos em 2 grupos de acordo com a sua região de residência: Residentes da Grande São Paulo (Grupo 1), com idade média de $45\pm 0,02$ anos e residentes da Baixada Santista (Grupo 2), com média de idade de $47\pm 0,03$ anos.

Os critérios de inclusão adotados são: (a) indivíduos moradores da cidade de São Paulo sem nenhuma patologia cardiorrespiratória de base; (b) indivíduos moradores da Baixada Santista sem nenhuma patologia cardiorrespiratória de base. Serão excluídos desta investigação indivíduos que tomem regularmente qualquer medicação que interfira na saúde cardiorrespiratória.

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Universidade Santa Cecília (CAAE: 60196516.8.0000.5513).

3.2 Anamnese geral

Foram incluídos na pesquisa, todos os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e informado. Os indivíduos foram entrevistados para o preenchimento da ficha de anamnese geral elaborada pelo pesquisador, com o intuito de obter informações relacionadas ao estilo de vida, doenças crônicas, bem como dados pessoais.

3.3 Avaliação antropométrica

Diversos autores vêm mostrando a influência que as variáveis antropométricas exercem sobre a capacidade aeróbia de indivíduos (MAZAHARI *et al.*, 2016; STENSRUD e STANG, 2016). Portanto, primeiramente foram avaliados o peso e a estatura utilizando, respectivamente, uma balança digital Filizola e um estadiômetro Sanny. Em seguida foi calculado o Índice de Massa Corporal (IMC), um importante parâmetro criado pela Organização Mundial de Saúde que indica se o indivíduo se encontra no peso ideal, abaixo ou acima do recomendado (WHO, 2000).

Para avaliação do percentual de gordura corporal, as dobras cutâneas foram medidas utilizando um adipômetro Cescorf e estimadas pelo protocolo de três dobras cutâneas, específico para homens, proposto por Jackson e Pollock (JACKSON e POLLOCK, 1977).

Para avaliação indireta do conteúdo de gordura visceral, foi utilizada a medida de circunferência abdominal que leva em consideração o gênero dos indivíduos, sendo que valores iguais ou superiores a 80 cm em mulheres e 94 cm em homens apontam para risco de doença cardiovascular aumentado (ABESO, 2009; HANS *et al.*, 1995).

3.4 Ergospirometria

O aparelho utilizado para realização dos exames foi o SensorMedics–VmaxAnalyzer Assembly, Encore 29S. Os valores foram coletados a cada respiração e convertidos em média de 30 segundos. Os parâmetros analisados foram: consumo de oxigênio ($\text{VO}_2\text{L}/\text{min}^{-1}$ ou $\text{mL}/\text{kg}^{-1}/\text{min}^{-1}\text{STPD}$); produção de dióxido de carbono ($\text{VCO}_2\text{mL}/\text{min}^{-1}\text{STPD}$); ventilação pulmonar ($\text{VE L}/\text{min BTPS}$); volume corrente ($\text{VCL}/\text{min BTPS}$); frequência respiratória (FR rpm); espaço morto funcional estimado ($\text{VD }/\text{VT}$); razão da troca respiratória (RER); equivalentes ventilatórios de oxigênio (VE/VO_2) e dióxido de carbono (VE/VCO_2) e pressões expiratórias finais de oxigênio e dióxido de carbono (PetO_2 e $\text{PetCO}_2\text{mmHg}$).

Antes de cada avaliação, o analisador metabólico foi calibrado utilizando gases com dióxido de carbono e oxigênio balanceada com nitrogênio, e o medidor de fluxo será calibrado com uma seringa de 3 litros. O TECP foi realizado em cicloergômetro eletromagnético (CardioControl), através do protocolo de rampa com aumento constante de carga (incrementos de 5 a 20W/min) e velocidade constante entre 60 e 70 rotações por minuto até a exaustão.

Para a análise do comportamento da frequência cardíaca durante o exame, foi utilizado um eletrocardiograma com doze derivações padrão (D1, D2, D3, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, V6 - ECG Marquette Medical Systems, Inc. CardioSoft, Wisconsin, USA) e para avaliação da pressão arterial foi utilizado o método auscultatório.

O teste foi considerado máximo quando o paciente atingir valores de razão da troca respiratória $\geq 1,10$ associado à exaustão referida pelo paciente (Skinner *et al.*,

1980). A capacidade física foi determinada pelo consumo de oxigênio pico no final do exame. Em repouso, durante e após a avaliação funcional cardiorrespiratória foi feito o registro eletrocardiográfico, além de mensurações periódicas da pressão arterial por um auxiliar. Periodicamente, foi perguntado ao paciente a respeito de seus sintomas ao esforço, como cansaço, peso nas pernas e tonturas.

3.5 Análise Estatística

Os dados obtidos na anamnese, inventário de saúde mental e avaliação antropometria foram analisados empregando estatística descritiva. Para comparação das variáveis ventilatórias entre os grupos realizou-se teste T de Student considerando $p < 0.05$.

3.6 Abordagem

Os participantes da pesquisa foram convidados a participar desta investigação e para tanto realizaram teste espirométricos no hospital Leforte. Os sujeitos que concordarem em colaborar com o estudo, responderão a anamnese geral, onde serão registradas as medidas antropométricas. Os residentes da Baixada Santista passaram pelo mesmo procedimento, porém o agendamento para esses indivíduos foi mais delicado, observando o momento de maior conveniência para estes participantes devido ao maior deslocamento.

4. RESULTADOS

Este estudo corrobora com a literatura avaliando de forma direta, análise ergoespirométrica, a função pulmonar em indivíduos residentes de uma grande metrópole brasileira, a cidade de São Paulo e indivíduos moradores de uma região costeira, a cidade de Santos localizada a 72km da capital.

A **Tabela 1** demonstra a média de idade, peso e o consumo máximo de oxigênio ($VO_{2Máx}$), equiparando os grupos e os qualificando para análises de efeito comparativo.

Tabela 1 - Características da amostra estudada

Variável	Grupo 1	Grupo 2
Idade (anos)	45±0,02	47±0,03
Peso (Kg)	79±0,01	77±0,01
VO ₂ Máx (mL/Kg/min)	17,5±0,04	18,3±0,08

Dados expressos em média e desvio padrão

A figura 1 representa a ventilação (VE), que é o resultado do produto da frequência respiratória pelo volume corrente, que foi maior no Grupo 1 (moradores de São Pulo) em comparação ao Grupo 2 (Moradores de Santos), demonstrando maior esforço físico frente ao mesmo estímulo durante o teste.

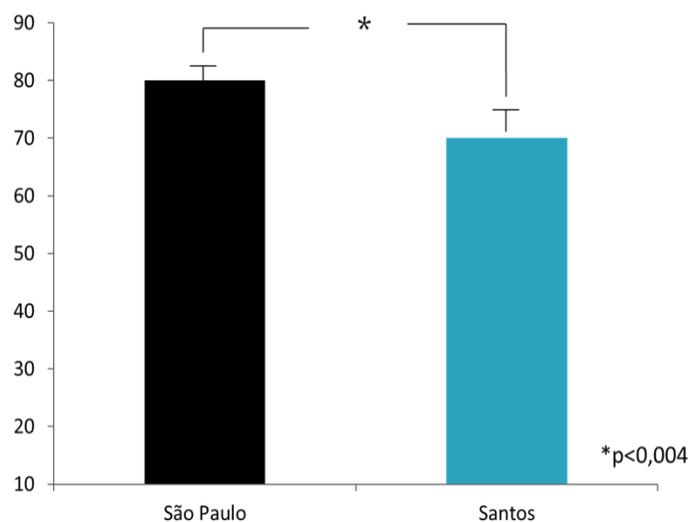


Figura 1. Valores comparativos da ventilação (VE) entre os grupos, obtidos através da ergoespirometria

Fonte: Elaborado pelo autor

Um dos mecanismos fisiológicos determinantes para a realização do exercício é a captação de O₂. A figura 2 demonstra o equivalente ventilatório de O₂ (VE/VO₂), que reflete quantos litros de ar por minuto são necessários e devem ser ventilados para consumir 100mL de O₂. Nota-se que os residentes de São Paulo necessitaram ventilar mais para consumir a mesma quantidade de O₂ que os residentes de Santos, demonstrando assim um comportamento alterado frente ao teste de esforço.

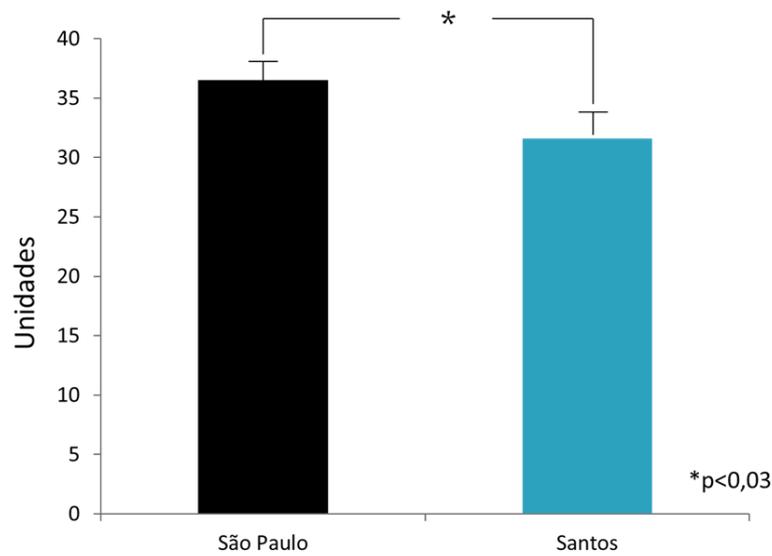


Figura 2. Valores comparativos do equivalente ventilatório de O₂ (VE/VO₂) entre os grupos, obtidos através da ergoespirometria.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A figura 3 demonstra o equivalente ventilatório de CO₂ (VE/VCO₂), que representa a necessidade ventilatória para eliminar uma determinada quantidade de CO₂ produzida pelos tecidos em atividade, o Grupo 1, obteve maior VE/VCO₂ em comparação ao Grupo 2, demonstrando assim uma maior produção de CO₂ pelo organismo, demonstrando menor capacidade aeróbia e rápida fadiga.

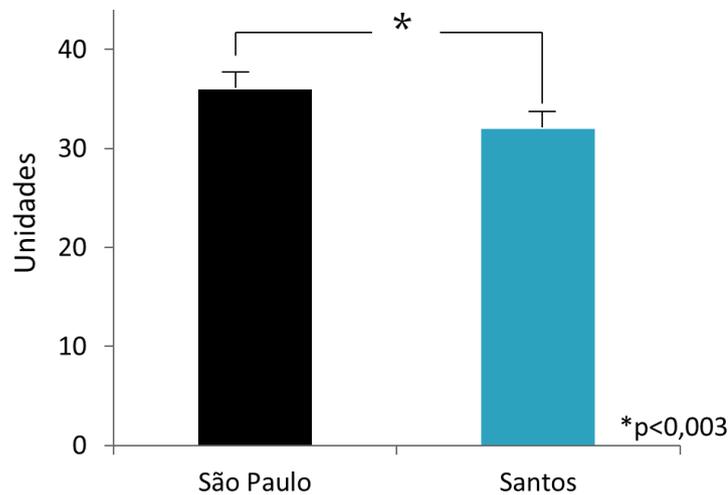


Figura 3. Valores comparativos do equivalente ventilatório de CO₂ (VE/VCO₂) entre os grupos obtidos, através da ergoespirometria.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Apesar da cidade de Santos localizar-se a apenas alguns quilômetros da metrópole São Paulo, a mesma desfruta de um ambiente mais limpo, arborizado e de

maior contato com a natureza. Registros anuais da CETESB demonstram os níveis de poluição atmosférica entre as duas cidades para os principais poluentes atmosféricos estudados, MP2,5 e MP10. Comprovando maiores níveis de poluição na cidade de São Paulo em comparação a cidade de Santos (Figuras 4 e 5).

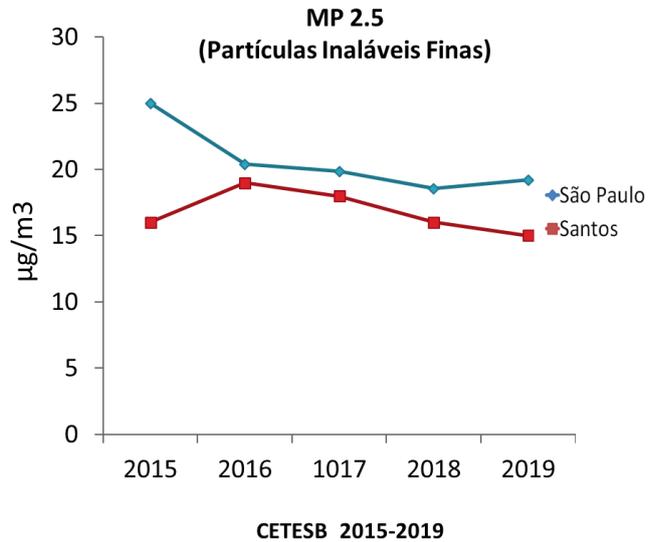


Figura 4. Níveis de concentrações de MP2,5, segundo dados da CETESB entre os anos de 2015 a 2019 par as Cidades de São Paulo e Santos.

Fonte: Dados da Cetesb

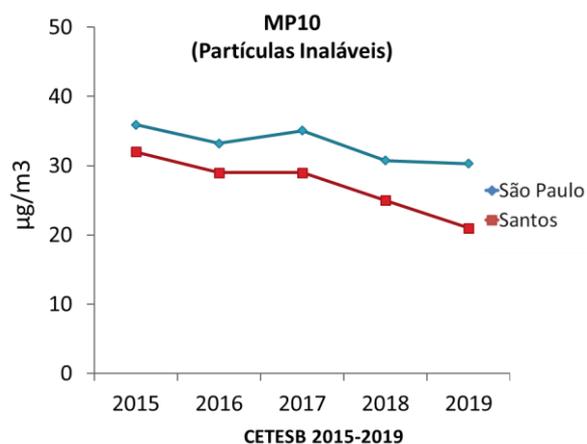


Figura 5. Níveis de concentrações de MP10, segundo dados da CETESB entre os anos de 2015 a 2019 para as Cidades de São Paulo e Santos.

Fonte: Dados da Cetesb

5. DISCUSSÃO

A poluição do ar é um dos cinco fatores ambientais mais nocivos para a saúde humana. A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que 7 milhões de mortes ao ano ocorrem devido à exposição à poluição do ar (World Health Organization, 2021).

Os riscos à saúde associados a partículas de diâmetro igual ou menor que 10 e 2,5 micra (μm), MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$, respectivamente, são de particular relevância para a saúde pública. Tanto as $\text{MP}_{2,5}$ quanto as MP_{10} são capazes de penetrar profundamente nos pulmões, mas as $\text{MP}_{2,5}$ podem entrar até mesmo na corrente sanguínea, resultando principalmente em impactos cardiovasculares e respiratórios e também afetando outros órgãos. As MP são geradas principalmente pela queima de combustíveis em diferentes setores, incluindo transporte, energia, indústria e agricultura, bem como nas residências. (MAIA; NETTO; COSTA, 2019)

Analisando dados da concentração atmosférica em um período de 04 anos (CETESB 2015-2019), demonstraram que os materiais particulados $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} apresentaram maior concentração na atmosfera na cidade de São Paulo quando comparado a cidade de Santos (Figuras 4 e 5).

Nesta investigação, observamos que o Grupo 1, residentes de São Paulo, demonstrou respostas ventilatórias compatíveis a um maior esforço para a realização do teste, assim como uma acidose metabólica maior em comparação ao Grupo 2, moradores de Santos. O mecanismo biológico plausível dos danos causados pela poluição do ar é devido à inalação dos gases e à exposição a partículas finas que penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular, podendo causar acidentes vasculares cerebrais, doenças cardíacas, câncer de pulmão, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e infecções respiratórias, incluindo pneumonia. (MAIA; NETTO; COSTA, 2019; (GOUVEIA et al., 2019).

Nosso trabalho demonstrou existir uma relação negativa do sistema pulmonar frente a esforços físicos realizados em ambientes com maiores índices de poluição atmosférica (Figuras 1, 2 e 3), observamos um maior trabalho ventilatório do sistema pulmonar, uma menor ventilação de oxigênio e maior volume de gás carbônico nos indivíduos moradores da Cidade de São Paulo quando comparados com moradores de Santos.

Fajersztajn et al. 2017, demonstraram que um aumento de 10 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ nas concentrações diárias de $\text{PM}_{2,5}$ foi significativamente associado ao aumento do risco de mortalidade respiratória e cardiovascular em todas as idades.

Adamkiewicz et al., 2004, relataram que um aumento na concentração média em 24 horas de $\text{PM}_{2,5}$ em níveis de $17,7\mu\text{g}/\text{m}^3$, esteve associado a um aumento na fração de óxido nítrico exalado (FE(NO)) uma medida não invasiva de inflamação das vias aéreas e as associações entre (FE(NO)) e $\text{MP}_{2,5}$ foram significativamente maiores nos sujeitos com diagnóstico de DPOC.

A poluição também está associada à redução da saturação de oxigênio, o que corrobora com os achados apresentados nos gráficos 2 e 3. A inflamação endotelial alveolar pode resultar em comprometimento da difusão de oxigênio e diminuições sutis nos níveis de saturação de oxigênio devido à formação de edema o que compromete e resulta em um processo de trocas gasosas ineficiente (DEMEO, 2004).

As partículas finas $\text{PM}_{2,5}$, estão associadas com reação inflamatória na mucosa brônquica periférica caracterizada por maior permeabilidade vascular, edema mucoso, produção de mediadores inflamatórios, lesões epiteliais e que agudamente podem provocar um alto estreitamento do lúmen brônquico e cronicamente favorecem a remodelação das vias aéreas e um rápido declínio da função respiratória, o que corrobora com os achados, que demonstram aumento na ventilação frente ao esforço (RUNDELL, 2015; MORAES 2019). Sugerindo assim, que moradores de uma região mais poluída sofrem efeitos fisiológicos decorrentes da exposição à poluição quando comparados a residentes de áreas com níveis de poluentes mais baixos.

SAPALDIA, 2007, acompanharam 4742 participantes de ambos os sexos com idade entre 18 e 60 anos de 1991 a 2002 e mostram que a melhora da qualidade do ar pode diminuir a taxa anual de declínio da função pulmonar na idade adulta. Reduções relativamente pequenas na exposição a PM_{10} têm benefícios mensuráveis para a função pulmonar, sugerindo que um declínio da poluição do ar, mesmo de níveis baixos, pode ter consequências positivas para a saúde pública (SAPALDIA, 2007).

Souza et al., 1998, avaliaram amostras de tecido pulmonar que foram colhidas durante necropsias de indivíduos que morreram por causas violentas em cidades do estado de São Paulo. Através de uma análise histopatológica, os pulmões coletados dos moradores que residiam em áreas de alta concentração de poluentes

apresentaram evidência de lesão pulmonar inflamatória crônica subclínica de dano bronquiolar em comparação com os pulmões dos residentes de ambientes mais limpos, esses efeitos foram observado mesmo depois de controlar as diferenças individuais em idade, sexo e tabagismo e sugerem que a exposição prolongada à poluição do ar a níveis urbanos pode contribuir para a patogênese inflamatória da doença das vias aéreas (SOUZA et al., 1998).

Contudo os mecanismos fisiológicos que explicam os efeitos da poluição frente a comprometimentos no sistema cardiorrespiratório permanecem incertos, o processo inflamatório decorrente da exposição aos poluentes com consequência o estresse oxidativo parece influenciar nas respostas respiratórias frente ao exercício, entretanto mais estudos devem ser conduzidos a fim de desvendar os efeitos deletérios causados pela poluição atmosférica no organismo humano.

6. CONCLUSÃO

Podemos concluir que indivíduos residentes da grande São Paulo apresentam eficiência respiratória diminuída quando comparada aos moradores de região costeira durante teste de esforço máximo.

7. ARTIGO PUBLICADO

Research, Society and Development, v. 11, n. 15, e44111536565, 2022
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i15.36565>

A poluição atmosférica reduz a capacidade respiratória durante exercício máximo

Air pollution reduces breathing capacity during maximum exercise

La contaminación del aire reduce la capacidad respiratoria durante el ejercicio maximum

Recebido: 16/10/2022 | Revisado: 30/10/2022 | Aceitado: 02/11/2022 | Publicado: 09/11/2022

Nicolau Teixeira Ramos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5558-3173>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: nicolautr@unisanta.br

Caroline Simões Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7393-4483>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: carolineteixeira@@unisanta.br

Ana Beatriz Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1557-726X>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: nicolautr@unisanta.br

Luiza Victor Frade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6336-7593>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: nicolautr@unisanta.br

Alexandre Galvão da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1094-901X>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: agalvao@unisanta.br

Débora Dias Ferraretto Moura Rocco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7258-2546>
Universidade Santa Cecília, Brasil
E-mail: drocco@unisanta.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adamkiewicz G, Ebel S, Syring M, Slater J, Speizer FE, et al. Association between Air Pollution Exposure and Exhaled Nitric Oxide in an Elderly Population. *Thorax*. 2004, 59, 204-209. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/thorax.2003.006445>.

Anderson HR, Favarato G, Atkinson RW. Long term exposure to outdoor air pollution and the prevalence of asthma: meta-analysis of multicommunity prevalence studies. *Air Qual Atmos Health*. 2011; 6(1), pp 57–68. DOI:10.1007/s11869-011-0145-4.

Avol EL, Gauderman WJ, Tan SM, London SJ, Peters JM. Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164:2067-2072. DOI:10.1164/ajrccm.164.11.2102005.

Castro HA, Hacon S, Argento R, Junger WL, Mello CF, et al. Air pollution and respiratory diseases in the Municipality of Vitória, Espírito Santo State, Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2007;23:S630–42. DOI: 10.1590/S0102-311X2007001600023.

DETRAN/SP – Departamento Estadual de trânsito do estado de São Paulo – Frota veicular em SP, 2016, disponível em: <https://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/detran/estatisticatransito/sa-frotaveiculos>.

DeMeo DL, Zanobetti A, Litonjua AA, Coull BA, Schwartz J, et al. Ambient Air Pollution and Oxygen Saturation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2004; 170, 383-387. DOI:10.1164/rccm.200402-244OC.

Douglas W, Dockery C, Arden P, Xiping X, John DS, et al. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *N Engl J Med.* 1993; 329:1753-1759. DOI: 10.1056/NEJM19931209329240.

Downs SH, Schindler C, Liu LJ, Keidel D, Bayer-Oglesby L, et al. SAPALDIA Team. Reduced exposure to PM₁₀ and attenuated age-related decline in lung function. *N Engl J Med.* 2007;357:2338–2347. DOI:10.1056/NEJMoa073625.

Fajersztajn L, Saldiva P, Pereira LAA, Leite VF, Buehler AM. Short-term effects of fine particulate matter pollution on daily health events in Latin America: a systematic review and meta-analysis. *Int J Public Health.* 2017. DOI 10.1007/s00038-017-0960

Godoy MLDP, Godoy JM, Roldão LA, Soluri DS, Donagemma RA. Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. *Atmos Environ.* 2009. 43: 2366-74. DOI:10.1016/j.atmosenv.2008.12.046.

Gouveia N, Mendonça GAS, Leon AP, Correia JEM, Junger WL, et al. Air pollution and health effects in two Brazilian metropolis. *Epidemiologia e Serviços de Saúde* 2003;12:29–40.

Hogg JC, van Eeden S. Pulmonary and systemic response to atmospheric pollution. *Respirology*. 2009;14:336–346.

Kaiser J. Showdown Over Clean Air Science. *Science*. 1997; Vol. 277, Issue 5325, pp. 466-469, 25 Jul. DOI: 10.1126/science.277.5325.466

LA Rovere MT, Pinna GD, Maestri R, Mortara A, Capomolla S, et al. Short Term Heart Rate Variability Strongly Predicts Sudden Cardiac Death in Chronic Heart Failure Patients. *Circulation*, 2003, 107, 565-570. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000047275.25795.17>.

Libby P, Ridker PM, Maseri A. Inflammation and Atherosclerosis. *Circulation*, 2002, 105, 1135-1143. DOI: <https://doi.org/10.1161/hc0902.104353>.

Mascarenhas MDM, Vieira LC, Lanzieri TM, Leal APPR, Duarte AF, et al. Anthropogenic air pollution and respiratory disease-related emergency room visits in Rio Branco, Brazil – September 2005. *J Bras Pneumol* 2008;34:42–6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S180637132008000100008> .

Nemmar A, Hoylarts MF, Hoet PHM, Nemery B. Possible Mechanisms of the Cardiovascular Effects of Inhaled Particles: Systemic Translocations and Prothrombotic Effects. *Toxicol. Lett.* 2004, 149, 243-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2003.12.061>.

Rundell KW, Anderson SD, Sue-Chu M, Bougault V, Boulet LP. Air quality and temperature effects on exercise-induced bronchoconstriction. *Compr Physiol.* 2015; Apr;5(2):579-610. DOI: 10.1002/cphy.c130013.

Pope CA, 3rd. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *American Journal of Public Health.* May 1989; Vol. 79, No. 5, pp. 623-628.

Pope CA, Michael JT, Mohan MN, Douglas WD, John SE, et al. Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine.* 1995; Vol. 151, No. 3_pt_1 | Mar 01. DOI:10.1164/ajrccm/151.3_Pt_1.669

Pope CA III, Douglas WD. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 2006; 56:6, 709-742.

Samet JM, Cohen AJ, Holgate ST, Samet JM, Koren HS, et al. Air Pollution and Lung Cancer. In Air Pollutions and Health; Eds.; Academic Press: 1. Ed. London, United Kingdom, 1999, 841-864.

Schwartz J, Dockery DW. Increased Mortality in Philadelphia Associated with Daily Air Pollution Concentrations. *American Review of Respiratory Disease*. 1992; Vol. 145, No. 3, Mar 01. DOI: <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm/145.3.600>.

Souza MB, Saldiva PHN, Pope CA III, Capelozzi VL. Respiratory Changes Due to Long-Term Exposure to Urban Levels of Air Pollution: A Histopathologic Study in Humans. *Chest* 1998; 113,1312-1318. DOI: <http://dx.doi.org/10.1378/chest.113.5.1312>

Sørensen M, Daneshvar B, Hansen M, Dragsted LO, Hertel O, et al. Personal PM_{2.5} Exposure and Markers of Oxidative Stress in Blood; *Environ. Health Perspect*. 2003; 111, 161-165. DOI:10.1289/ehp.5646.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation*, 1996, 93, 1043-1065. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>.

Van Eeden SF, Tan WC, Suwa T, Mukae H, Terashima T, et al. Cytokines Involved in the Systemic Inflammatory Response Induced by Exposure to Particulate Matter Air Pollutants (PM10). *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2001; 164, 826-830. DOI:10.1164/ajrccm.164.5.2010160.

Van eeden SF, Yeung A, Quinlam K, Hogg JC. Systemic Response to Ambient Particulate Matter: Relevance to Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Proc. Am. Thorac. Soc.* 2005, 2, 61-67. DOI:10.1513/pats.200406-035MS.

World Health organization, author. The World Health Report. Geneva, Switzerland: 2015.

Zelikoff JT, Chen LC, Cohen MD, Fang K, Gordon T, et al. Effects of Inhaled Ambient Particulate Matter on Pulmonary Antimicrobial Immune Defense. *Inhal. Toxicol.* 2003, 15, 131-150. DOI:10.1080/08958370304478