

Monitorização individual da poluição atmosférica e repercussões hemodinâmicas durante a caminhada em ambientes indoor e outdoor

Paulo Henrique de Moura^{1*}, Camille Rodrigues Oliveira², Anna Luíza Guimarães Rosa³, Ramon Isidorio da Silva⁴, Leonardo Martins Lima², Leandro Dias Gomes de Carvalho⁵, Adalgiza Mafra Moreno⁶

¹ Professor do Programa de Iniciação Científica da Universidade Iguaçu. Doutorando e Mestre em cardiologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. (*Autor correspondente: paulohdemoura@gmail.com)

² Programa de Iniciação Científica da Universidade Iguaçu, Graduado em Fisioterapia pela Universidade Iguaçu, Rio de Janeiro, Brasil.

³ Programa de Iniciação Científica da Universidade Iguaçu, Graduando em Medicina pela Universidade Iguaçu, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴ Programa de Iniciação Científica da Universidade Iguaçu, Graduando em Fisioterapia pela Universidade Iguaçu, Rio de Janeiro, Brasil.

⁵ Mestrando em Estatística no Instituto de Matemática (IM) pela Universidade federal do Rio de Janeiro, Brasil.

⁶ Professora do Programa de Iniciação Científica da Universidade Iguaçu., Doutora em cardiologia pela Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 02/05/2025 – Revisado em: 14/06/2025 – Aceito em: 18/07/2025

RESUMO

A poluição atmosférica é um dos principais problemas de saúde pública, associada a doenças cardiovasculares, respiratórias e câncer. A prática de atividades físicas em ambientes urbanos poluídos pode desencadear efeitos hemodinâmicos agudos e crônicos, mesmo em indivíduos saudáveis. O estudo analisou os efeitos hemodinâmicos da exposição individual ao Material Particulado (MP_{2,5}) em ambientes “indoor” e “outdoor”, durante o Teste de Caminhada de 6 Minutos (TC6M). Participaram 30 voluntários saudáveis (18-70 anos), com monitoramento de variáveis hemodinâmicas de Frequência Cardíaca (FC), Pressão Arterial (PA), Saturação de Oxigênio SatO₂, Frequência Respiratória (FR) e escala de Borg e ambientais (MP_{2,5}, temperatura e umidade). A análise estatística incluiu teste T de Student, correlação de Pearson e regressão univariada ($p \leq 0,05$). As concentrações de MP_{2,5} excederam 7,2 vezes o padrão da OMS, sem efeitos agudos significativos nas variáveis hemodinâmicas. A FR e a distância percorrida no TC6M diferiram entre ambientes, com melhor desempenho “outdoor”. A umidade influenciou positivamente a distância no “indoor” ($R^2=0,33$; $p<0,001$), enquanto a temperatura afetou a FR no “outdoor” ($R^2=0,14$; $p=0,044$). Correlação negativa entre MP_{2,5}, e SatO₂ foi observada no “outdoor” ($R=-0,23$). Conclui-se que indivíduos saudáveis podem não apresentar respostas hemodinâmicas agudas significativas durante atividades de baixa intensidade e curta duração, mesmo sob altas concentrações de MP_{2,5}. Contudo, a má qualidade do ar em áreas urbanas destaca a necessidade de políticas públicas para criação de ambientes seguros à prática de exercícios, especialmente em regiões com tráfego veicular intenso.

Palavras-Chaves: Poluição atmosférica, Variáveis hemodinâmicas, Teste de caminhada dos 6 minutos, Tráfego veicular, Exposição ambiental

Individual monitoring of air pollution and hemodynamic effects during walking in indoor and outdoor environments

ABSTRACT

Air pollution is a major public health issue, associated with cardiovascular diseases, respiratory conditions, and cancer. Physical activity in polluted urban environments can trigger acute and chronic hemodynamic effects, even in healthy individuals. This study analyzed the hemodynamic effects of individual exposure to fine particulate matter (PM_{2,5}) in indoor and outdoor environments during a 6-Minute Walk Test (6MWT). Thirty healthy volunteers (18–70 years old) participated, with monitoring of hemodynamic variables (heart rate [HR], blood pressure [BP], oxygen saturation [SpO₂], respiratory rate [RR], Borg scale) and environmental factors (PM_{2,5}, temperature, humidity). Statistical analysis included Student's T-test, Pearson correlation, and univariate regression ($p \leq 0.05$). PM_{2,5} concentrations exceeded the WHO standard by 7.2 times, but no significant acute hemodynamic effects were observed. RR and distance covered in the 6MWT differed between environments, with better performance outdoors. Humidity positively influenced distance indoors ($R^2 = 0.33$; $p < 0.001$), while temperature affected RR outdoors ($R^2 = 0.14$; $p = 0.044$). A negative correlation between PM_{2,5}

Moura, P. H., Oliveira, C. R., Rosa, A. L. G., Silva, R. I., Lima, L. M., Carvalho, L. D. G., & Moreno, A. M. (2025). Monitorização individual da poluição atmosférica e repercussões hemodinâmicas durante a caminhada em ambientes indoor e outdoor. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.13, n.2, p.107-119.



and SpO₂ was observed outdoors ($R = -0.23$). In conclusion, healthy individuals may not exhibit significant acute hemodynamic responses during low-intensity, short-duration activities, even under high PM_{2.5} concentrations. However, poor air quality in urban areas underscores the need for public policies to create safer exercise environments, particularly in regions with heavy vehicular traffic.

Keywords: Air pollution, Hemodynamic variables, 6-minute walk test, Vehicular traffic, Environmental Exposure

Monitorización individual de la contaminación atmosférica y repercusiones hemodinámicas durante la caminata en ambientes interiores y exteriores

RESUMEN

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas de salud pública, asociada a enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer. La práctica de actividades físicas en entornos urbanos contaminados puede desencadenar efectos hemodinámicos agudos y crónicos, incluso en individuos sanos. Este estudio analizó los efectos hemodinámicos de la exposición individual al Material Particulado (MP_{2.5}) en ambientes *indoor* y *outdoor*, durante la Prueba de Caminata de 6 Minutos (PC6M). Participaron 30 voluntarios sanos (18-70 años), con monitoreo de variables hemodinámicas (frecuencia cardíaca [FC], presión arterial [PA], saturación de oxígeno [SpO₂], frecuencia respiratoria [FR], escala de Borg) y ambientales (MP_{2.5}, temperatura, humedad). El análisis estadístico incluyó prueba T de Student, correlación de Pearson y regresión univariada ($p \leq 0,05$).

Las concentraciones de MP_{2.5} excedieron 7,2 veces el estándar de la OMS, pero no se observaron efectos agudos significativos en las variables hemodinámicas. La FR y la distancia recorrida en la PC6M difirieron entre ambientes, con mejor rendimiento en *outdoor*. La humedad influyó positivamente en la distancia en *indoor* ($R^2 = 0,33$; $p < 0,001$), mientras que la temperatura afectó la FR en *outdoor* ($R^2 = 0,14$; $p = 0,044$). Se observó una correlación negativa entre MP_{2.5} y SpO₂ en *outdoor* ($R = -0,23$). Se concluye que individuos sanos pueden no presentar respuestas hemodinámicas agudas significativas durante actividades de baja intensidad y corta duración, incluso bajo altas concentraciones de MP_{2.5}. Sin embargo, la mala calidad del aire en áreas urbanas resalta la necesidad de políticas públicas para crear entornos seguros para la práctica de ejercicio, especialmente en regiones con tráfico vehicular intenso.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, Variables hemodinámicas, Prueba de caminata de 6 minutos, Tráfico vehicular, Exposición a Riesgos Ambientales

1. Introdução

O desenvolvimento econômico das cidades tem impulsionado avanços significativos, mas também tem gerado profundas transformações urbanísticas e ambientais. A expansão de edifícios, a instalação de fábricas e indústrias, e o aumento exponencial da frota de veículos automotores contribuíram, ao longo dos anos, para a elevação das concentrações de poluentes atmosféricos. Esses poluentes são monitorados tanto *in situ*, por meio de estações fixas, quanto remotamente, via satélite, visando a avaliação e controle da qualidade do ar (IBGE, 2022; Pereira & Lessa, 2011).

A poluição do ar é um dos maiores problema de saúde pública da atualidade, com impactos extremos sobre o ambiente, clima e a saúde da população, sendo relacionado a hospitalizações e óbitos, em especial nos idosos, crianças e portadores de comorbidades (CONAMA, 2018; Moura et al., 2020). A inalação de partículas ultrafinas pela exposição constante aos poluentes do ar mesmo em baixas concentrações podem desencadear efeitos agudos como tosse, dispneia, taquicardia e elevações tensionais desencadeados por mecanismos biológicos a partir de inflamação, stress oxidativo e disfunção endotelial, ou ainda causar efeitos crônicos ao longo dos anos como: hipertensão arterial, infarto, arritmias, doença pulmonar obstrutiva crônica e cânceres (Jacobs et al., 2010; Huang et al., 2021; Coripio et al., 2024).

O Global Burden of Disease (GBD) estimou em 2021 que o número de mortes atribuídas a poluição do ar foi de 8 milhões incluindo ambientes “*indoor* e *outdoor*”, posicionando este fator de risco em 2º lugar para as mortes por todas as causas, indicando uma proporção de responsabilidade de 11,9% dos óbitos mundiais e uma taxa de 99 óbitos/100.000 hab. No Brasil essa proporção foi de 3,8% com uma taxa de 28/100.000 hab., com uma grande parcela destes óbitos tendo relação direta com a inalação de Material Particulado (MP_{2.5}), que são partículas suspensas na atmosfera com tamanho menor a 2,5 micrômetros (IHME, 2024).

Nos dias atuais 91% da população dos centros urbanos estão expostos a ambientes em que a qualidade do ar possui concentrações acima dos padrões propostos pela Organização Mundial de Saúde (OMS), além disso esses indivíduos permanecem por longos períodos aguardando transporte público, se deslocando com vidro do veículo aberto, trabalhando, ou se exercitando próximo a rodovias (OMS, 2022; Guo et al., 2021). Conforme as diretrizes de Qualidade do Ar mais recentes da OMS de 2021, as recomendações para as concentrações anuais das médias de $MP_{2,5}$ são de $5 \mu g/m^3$; e para a média de 24 horas são de $15 \mu g/m^3$ (OMS, 2022).

Desta maneira, é plausível que a prática de alguma atividade física como caminhada, corrida ou ciclismo em ambientes “*outdoors*” possa desencadear efeitos agudos, com repercussões hemodinâmicas prejudiciais, uma vez que o tempo de exposição e a quantidade de volume corrente de ar inalado nessas atividades é alta (Guo et al., 2021; Byun et al., 2024).

O Município de Nova Iguaçu localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, concentra 819.134 mil habitantes, e corresponde a 0,3% da população do país¹, sendo cortado por importantes eixos rodoviários, como a Rodovia Presidente Dutra, o Arco Metropolitano e a Via *Light*, está em especial corta grande parte do município e totaliza 10,3 km de via urbana para veículos de passeio, caminhões e ônibus de transporte público, aumentando significativamente a poluição por tráfego veicular na região (DETRAN, 2014). Acoplada ao seu trajeto em grande parte do seu percurso a Via Light integra uma faixa de ciclovia com um corredor para pedestres com distância aproximada de 5 metros do tráfego veicular.

Estas características de proximidade do tráfego com a prática de exercício em ambiente aberto “*outdoor*” podem representar um perigo a saúde, apesar dos benefícios da atividade física, o que levanta a hipótese de que a diferença de concentrações de $MP_{2,5}$ entre os ambientes abertos “*indoor*” e fechados “*outdoor*” podem gerar respostas hemodinâmicas agudas distintas durante a caminhada (Guo et al., 2021).

Desta maneira, o presente estudo teve como objetivo avaliar através da monitorização individual da poluição atmosférica e das variáveis ambientais as repercussões hemodinâmicas durante a caminhada em ambientes indoor e outdoor.

2. Material e Métodos

2.1 Desenho de estudo

A figura 1 mostra a localização do município de Nova Iguaçu no estado do Rio de Janeiro e destaca a dinâmica do trânsito e a proximidade da faixa de pedestres para caminhada na Via *Light*.

Figura 1- Localização da Via *Light* no município de Nova Iguaçu



Fonte: <https://www.mapchart.net/brazil-municipalities.html> (2025)

A via *Light* fica localizada na Rua Arcelino Pereira Neves 110, Via Light- Nova Iguaçu, RJ (CEP 26220-010) –(Latitude - 22.74496, Longitude - 43.44179). O estudo tem desenho quase-experimental, com randomização semanal do local aberto (Via *Light*) e fechado (Clínica escola da Universidade Iguaçu), individualização dos voluntários que serviram de próprio controle ao serem expostos em diferentes ambientes durante o Teste de Caminhada dos 6 minutos (TC6M).

2.2 Participantes e ambiente

Os participantes foram voluntários do município de Nova Iguaçu, recrutados por divulgação na Universidade Iguaçu (UNIG), ostensiva para alunos, funcionários e familiares. A amostra incluiu 30 participantes com idade entre 18 e 70 anos, de ambos os sexos, com capacidade de deambulação sem auxílio.

Os critérios de exclusão foram indivíduos com limitações funcionais que impedissem a prática do TC6M, sintomatologia qualquer pré realização do TC6M, ou não concordância da assinatura do Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE). Estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Iguaçu - **CAAE 65166922.7.0000.8044**.

A coleta incluiu dados individuais sociodemográficos de etnia, profissão e escolaridade, dados antropométricos de peso altura, dados hemodinâmicos, história patológica pregressa, cirurgias, uso de medicações e história social sobre prática de atividade física e tabagismo.

A coleta de dados também incluiu variáveis ambientais de Material Particulado ($MP_{2,5}$ $\mu g/m^3$), temperatura ($^{\circ}C$) e umidade (%) em ambiente aberto (Via *Light*) e ambiente fechado (UNIG).

2.3 Local, instrumentos e avaliação

Os locais selecionados para a execução do protocolo de pesquisa compreenderam dois ambientes distintos: o primeiro, situado nas dependências da clínica escola de fisioterapia da Universidade Iguaçu (UNIG), caracterizou-se como um ambiente totalmente fechado “*indoor*”, climatizado e com temperatura controlada. O segundo local foi um ambiente aberto “*outdoor*”, utilizando uma ciclovía adjacente à Via *Light*, posicionada a aproximadamente 5 metros do tráfego de veículos da rodovia, permitindo a comparação entre os efeitos de ambientes controlados e ambientes expostos à poluição atmosférica.

O experimento teve duração de 6 semanas consecutivas, aplicando o protocolo de TC6M em 5 indivíduos por dia, as segundas feiras, iniciando as 08:00h da manhã e finalizando as 11:30h, com alternância semanal do início da coleta entre os locais, afim de randomizar as localidades.

O protocolo de atividade física aplicado foi o TC6M, padronizado como teste simples da capacidade de exercício na forma submáxima, que se equipara a uma atividade diária como uma caminhada para o trabalho, prática de atividade física ou até mesmo simulação da exposição de transeuntes durante o dia. O teste inclui caminhada durante 6 minutos de forma rápida, num espaço de 30 metros delimitado por cones, com monitorização hemodinâmica realizada pelo medidor digital da marca OMRON® modelo HEM 6181, oxímetro portátil de pulso da marca Bioland® modelo AT101C, e adaptação do medidor de poluição atmosférica portátil modelo Temtop Particle Counter Aerosol Dust Monitor Professional Cleanroom Tester Laser Air Detector AQI Data Logger PMD 351, preso a um colete junto ao tórax do participante para mensurar a concentração de $MP_{2,5}$ dispersa na atmosfera e inalada pelo indivíduo.

Durante a realização do teste foram coletados em repouso, no 3º, no 6º, e no 9º minuto as variáveis hemodinâmicas de Frequência Cardíaca (FC), Pressão Arterial (PA), Frequência Respiratória (FR), Saturação de O₂ (SatO₂) e também a sensação de esforço de BORG que varia de 0 a 10, onde o indivíduo indica sua própria percepção de esforço, em que 0 é a ausência de cansaço e 10 seria equivalente a um cansaço extremo.

Ao termino da TC6M foi verificada a Distância Percorrida no Teste de Caminhada dos 6 Minutos (DPTC6M) pelo indivíduo no tempo de seis minutos, como medida de performance.

As variáveis meteorológicas foram mensuradas pelo termo-higrômetro digital HTC2 nos ambientes aberto e fechado, incluindo temperatura em graus Celsius (C°), e a umidade relativa do ar em porcentagem (%).

2.3 Análise estatística

Os dados sociodemográficos e as características dos indivíduos foram expressas em números absolutos e percentual e as variáveis hemodinâmicas e meteorológicas descritas em média, desvio padrão, intervalo de confiança e valores máximos e mínimos.

Os dados das variáveis hemodinâmicas e meteorológicas demonstraram normalidade pelo teste de Shapiro Wilk, sendo aplicado teste t de Student para amostras pareadas considerando significância de $p \leq 0,05$, comparando dados meteorológicos e hemodinâmicas. Utilizou-se a correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e hemodinâmicas seguido da análise de regressão univariada. As análises estatísticas foram construídas pelo R studio versão 2023.09.01+494 e Jomovi versão 3.2.

3. Resultados

A amostra foi composta por 30 indivíduos, com média de idade de $31,3 \pm 11,6$ anos (IC=27,0-35,6), sendo 53% do sexo masculino, com média de peso de $77,3 \pm 19,1$ kg, IMC de $26,8 \pm 5,2$ e estatura de $1,69 \pm 0,8$ m. A média de temperatura corporal durante o TC6M foi de $36,1 \pm 0,5$ C°. Destes, 21 (70%) são praticantes de alguma atividade física, e apenas 2 indivíduos (6,7%) são tabagistas.

A tabela 1 descreve as características sociodemográficas e perfil dos participantes, incluindo comorbidades pré-existentes.

Tabela 1 -Características sociodemográficas e perfil dos indivíduos
Table 1- Sociodemographic characteristics and profile of the individuals

Sexo	Nº	%
Feminino	14	46,7
Masculino	16	53,3
Etnia		
Branca	10	33,3
Negra	7	23,3
Parda	13	43,3
Profissão		
Autônomo	13	42,9
Estudante	11	36,7
Outros	6	19,8
Escolaridade		
Ensino Médio Incompleto	1	3,0
Ensino Médio Completo	7	24,0
Ensino Superior Incompleto	7	23,0
Ensino Superior Completo	15	50,0

Doenças		
Pneumopatia	2	6,7
Cardiopatia	4	13,3
Não possuem	24	80,0
Cirurgias Prévias		
Abdominal/ bariátrica/ estética	5	16,7
Ortopédica	3	9,9
Nunca realizaram	22	73,4

Fonte: autores (2025)

Source: autores (2025)

Entre as variáveis hemodinâmicas analisadas, apenas a FR e a DPTC6M apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os ambientes aberto e fechado, com valores de $p = 0,001$ e $p = 0,018$, respectivamente. A diferença média da DPTC6M foi de 20,4 metros a mais percorridos na *Via Light* em comparação ao ambiente fechado.

Para as variáveis ambientais houve diferença entre todas elas, respectivamente: $MP_{2,5}$ ($p=0,025$), temperatura ($p=0,003$) e umidade ($p=0,006$), com destaque para o $MP_{2,5}$ que excedeu acima de três vezes o padrão diário normatizado pela OMS, conforme tabela 2.

Tabela 2- Estatística descritiva das variáveis hemodinâmicas e ambientais em local aberto (*Via Light*) e fechado (UNIG)

Table 2- Descriptive statistics of hemodynamic and environmental variables in open (*Via Light*) and closed (UNIG) locations

Variáveis	Média ($\pm DP$)	IC 95%	Mínimo	Máximo	p valor
FC_UNIG	100,4 $\pm$ 16,7	94,1-106,6	70,7	145,5	0,890
FC_VLight	100,2 $\pm$ 17,5	93,6-106,7	69,5	138,0	
PA_sist_UNIG	127,5 $\pm$ 15,1	121,8-133,1	100,5	159,5	0,886
PA_sist_VLight	127,2 $\pm$ 14,3	121,9-132,6	104,7	156,5	
PA_diast_UNIG	80,4 $\pm$ 10,2	76,6-84,2	62,0	98,3	0,933
PA_diast_VLight	80,3 $\pm$ 9,1	76,8-83,7	63,5	99,3	
Sat O2_UNIG	97,7 $\pm$ 0,9	97,4-98,1	95,5	99,0	0,294
Sat O2_VLight	98,0 $\pm$ 0,7	97,7-98,2	96,5	99,0	
FR_UNIG	22,6 $\pm$ 4,1	21,1-24,1	14,0	32,8	0,001*
FR_VLight	25,4 $\pm$ 4,3	23,7-27,0	17,0	33,5	
Borg_UNIG	1,8 $\pm$ 1,0	1,3-2,1	0,3	4,3	0,670
Borg_VLight	1,8 $\pm$ 1,0	1,4-2,2	0,0	4,3	
DPTC6M_UNIG	518,8 $\pm$ 51,0	499,7-537,8	428,0	628,0	0,018*
DPTC6M_VLight	539,2 $\pm$ 51,2	520,0-558,3	426,0	666,5	
MP _{2,5} _UNIG	32,7 $\pm$ 25,2	23,2-42,1	13,1	109,3	0,025*

MP_{2,5}_VLight	46,2±19,4	38,9-53,4	18,9	87,6	
Temp_UNIG	26,4±3,3	25,1-27,6	20,0	35,9	0,003*
Temp_VLight	28,9±2,9	27,8-30,0	24,7	39,5	
Umidade_UNIG	50,5±5,8	48,3-52,7	39,0	61,0	0,006*
Umidade_VLight	55,1±9,8	51,3-58,7	33,0	74,0	

FC= Frequência Cardíaca (bpm), PA= Pressão Arterial (mmHg), SatO₂= Saturação arterial de oxigênio (%), FR= Frequência Respiratória (IRPM), DPTC6M= Distância Percorrida no Teste de Caminhada do 6 Minutos (metros), MP_{2,5}= Material Particulado (µg/m³), Temp= Temperatura ambiente (°C); Umidade (%); (±DP)= Desvio Padrão; (IC95%)= Intervalo de Confiança de 95%; *significância estatística com p≤0,05;

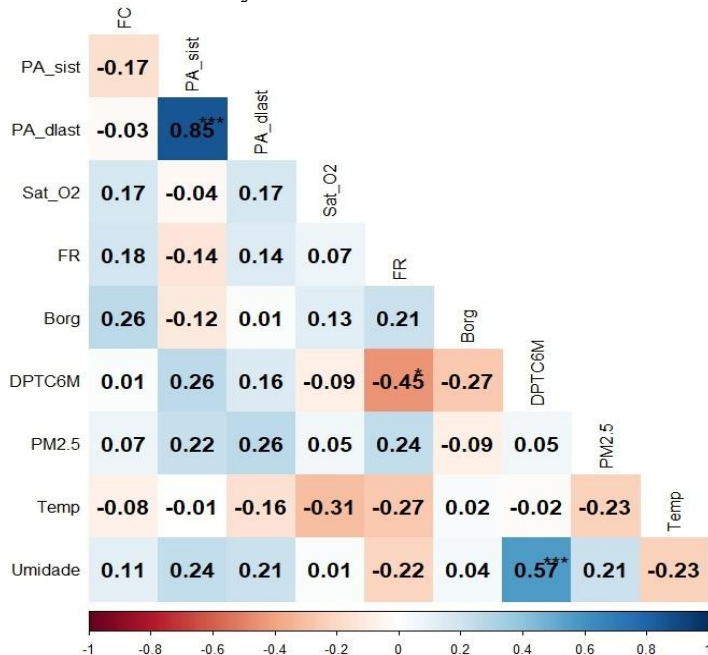
Fonte: autores (2025)

Source: autores (2025)

As figuras 2a e 2b demonstram as correlações entre as variáveis hemodinâmicas e ambientais, tanto em local aberto como fechado. A correlação entre o MP_{2,5} e SatO₂ foi neutra na UNIG (R=0,05) (figura 2a) e negativa na Via Light (R= -0,23) (figura 2b); entre temperatura e DPTC6M foi neutra na UNIG (R= -0,02) e negativa na Via Light (R= -0,16); e entre umidade e DPTC6M foi positiva na UNIG (R= 0,57) e Via Light (R=0,18).

Figura 2a- Matriz de correlação das variáveis ambientais e hemodinâmicas na UNIG (*indoor*)

Figure 2a- Correlation Matrix of Environmental and Hemodynamic Variables at UNIG



Fonte: autores (2025)

Source: autores (2025)

Figura 2b- Matriz de correlação das variáveis ambientais e hemodinâmicas na Via Light (*outdoor*)

Figure 2b: Correlation Matrix of Environmental and Hemodynamic Variables at Via Light

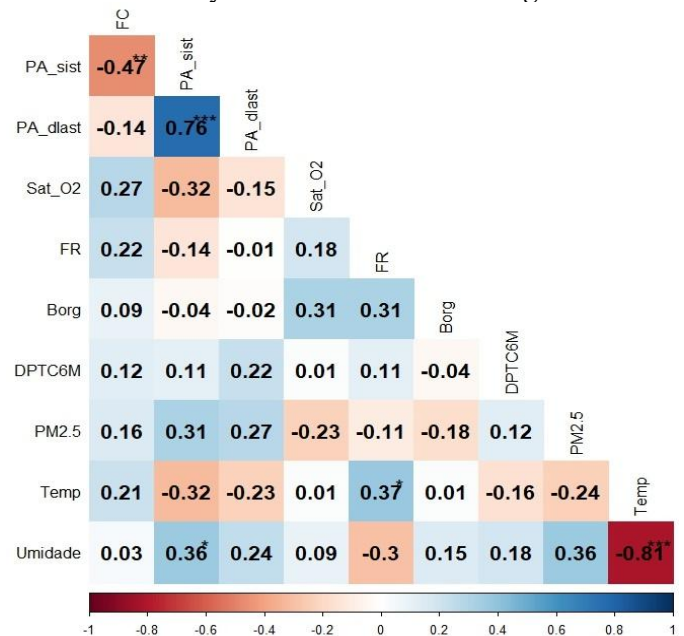
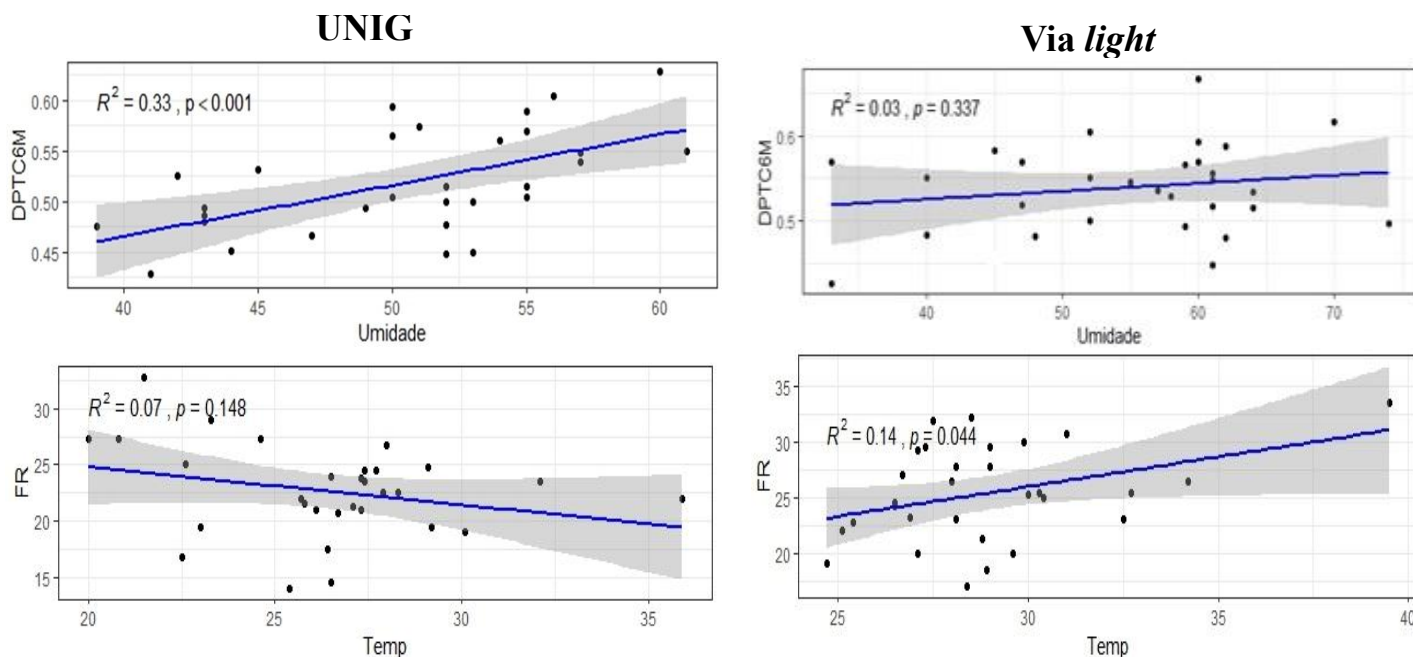


Figura 3- Regressão Univariada utilizando Umidade e Distância Percorrida no Teste de Caminhada do 6 Minutos e Temperatura e Frequência Respiratória

Figure 3- Univariate Regression Using Humidity and Distance Covered in the 6-Minute Walk Test, and Temperature and Respiratory Rate



Fonte: autores (2025)

Source: autores (2025)

A análise de regressão univariada demonstrou uma influência de 33% da umidade ($p < 0,001$) sobre o aumento da DPTC6M em ambiente fechado (UNIG), enquanto em ambiente aberto (Via Light) não foi observado a influência desta variável na DPTC6M.

A temperatura demonstrou influência de 14% de aumento da FR ($p = 0,044$) em ambiente aberto, com influência neutra em ambiente fechado. As demais variáveis ambientais não demonstraram influência sobre as variáveis hemodinâmicas e de performance, conforme figura 3.

4. Discussão

O estudo avaliou as repercussões hemodinâmicas durante a caminhada em ambientes aberto e fechado, monitorando individualmente a exposição ambiental, em especial à poluição atmosférica por $MP_{2,5}$.

Os principais resultados demonstraram que as maiores diferenças ocorreram nas concentrações de $MP_{2,5}$, com valores médios 30% superiores no ambiente “outdoor” (Via Light) em comparação ao ambiente “indoor”. Apesar das concentrações de $MP_{2,5}$ terem excedido em até três vezes o valor médio diário recomendado pela OMS ($15 \mu g/m^3$), foram registrados picos de 5,8 vezes ($87,6 \mu g/m^3$) e 7,2 vezes ($109,3 \mu g/m^3$) acima do padrão estabelecido. Contudo, não foram observados efeitos agudos significativos nas variáveis hemodinâmicas analisadas de FC, SatO2 e na sensação de cansaço medido pela escala de Borg durante o TC6M.

Foram observadas diferenças significativas na FR e na DPTC6M entre os ambientes, com melhor desempenho no ambiente aberto. Além disso, a umidade mostrou influência positiva na DPTC6M no ambiente fechado, enquanto que a temperatura afetou a FR no ambiente aberto.

Esses achados sugerem que, apesar da alta exposição à poluição do ar, indivíduos jovens e saudáveis podem não apresentar respostas hemodinâmicas agudas significativas durante atividades físicas leves e de curta duração, e que os efeitos podem variar de acordo com a intensidade da atividade física, com o volume de ar inalado durante a atividade e com o tempo de exposição a altas concentrações de poluentes do ar (Coripio et al., 2024; Fermino & Reis, 2013). Fermino & Reis (2013), relatam não haver diferenças significativas das principais variáveis hemodinâmicas cardiorrespiratória, medidas entre os ambientes aberto e fechado, entretanto, em seu estudo foi identificado aumento de marcadores sanguíneos como os eosinófilos e uma diminuição no fluxo expiratório nas medidas espirométricas.

Há de se considerar o perfil da amostra, composta principalmente por indivíduos sem comorbidades e com predomínio de praticantes de atividade física regular (70%), o que pode ter mitigado os efeitos negativos da poluição do ar, mesmo em altos picos horários.

As maiores diferenças observadas foram sobre as variáveis ambientais em ambiente controlado e fechado comparados a ambientes abertos, evidenciando a influência do clima sobre a exposição dos indivíduos, e ressaltando a importância do aprofundamento de pesquisas que analisem os impactos dessas variáveis estudadas em conjunto sobre as respostas hemodinâmicas.

A literatura sugere que, em ambientes com níveis baixos a médios de poluição do ar, o exercício físico tende a ser mais seguro para a saúde cardiorrespiratória de adultos jovens saudáveis, sem causar efeitos adversos significativos, conforme relata Ramos et al. (2015), entretanto, Cuissi (2014); demonstrou que exercícios em ambiente fechado em alguns casos podem ser prejudiciais quando a concentração ambiente de poluentes atmosféricos for elevada, sugerindo inclusive maior dano respiratório pela dificuldade de dispersão do poluente. O que pode ser facilmente identificado por medidores de qualidade do ar em locais tanto abertos quanto fechados (Cuissi, 2014).

A respeito da distância percorrida pelos voluntários o desempenho foi melhor em ambiente aberto com uma diferença da média da distância percorrida de 20,4 metros, sendo importante considerar o ambiente em que o teste foi realizado, já que vários fatores podem influenciar a distância percorrida como o comprimento da pista, a superfície de caminhada e as condições ambientais no momento (Brooks et al., 2003). Em ambientes domésticos ou fechados como o caso da clínica escola, onde o comprimento da pista pode ser limitado, a distância percorrida tende a ser menor em comparação com testes realizados em ambientes amplos ou abertos (Holland et al., 2015).

A exposição à poluição do ar pode ter efeitos agudos e crônicos na saúde, especialmente em populações vulneráveis, como idosos, crianças e indivíduos com doenças pré-existentes (Moura et al., 2020). Coripio et al. (2019) demonstraram que a poluição atmosférica pode intensificar respostas inflamatórias em indivíduos sedentários, mas não necessariamente em indivíduos saudáveis e ativos, o que corrobora os achados deste estudo pelo perfil da amostra.

Contrapondo este estudo Huang et al. (2021) e Qiu et. al (2019), relataram que a exposição a poluentes do ar pode levar a aumentos na PA e reduções na SatO₂, mesmo em indivíduos saudáveis, e que essas diferenças podem ser explicadas pela duração e concentrações de poluentes e intensidade da exposição, bem como pelas características da amostra.

Neste estudo, a exposição durante o TC6M é relativamente curta e de baixa intensidade, tendo também uma amostra composta por indivíduos predominante jovens e saudáveis (80% deles sem comorbidade), o que pode ter reduzido a sensibilidade aos efeitos agudos da poluição do ar.

Os resultados deste estudo têm implicações importantes para a prática de atividades físicas em ambientes urbanos. Apesar da alta concentração de MP_{2,5}, a ausência de efeitos hemodinâmicos agudos sugere que indivíduos jovens e saudáveis podem se exercitar em ambientes abertos sem riscos imediatos significativos. No entanto, é importante ressaltar que a exposição crônica à poluição do ar ainda pode ter efeitos deletérios a longo prazo, como o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias.

Guo et al. (2021), relata justamente que a prática regular de exercícios físicos e a redução da exposição ao $MP_{2,5}$ estão associadas a um menor risco de morte por causas naturais. O exercício regular pode diminuir o risco de morte, independentemente da exposição ao $MP_{2,5}$. Esses achados indicam que o exercício é uma estratégia segura e benéfica para a saúde, mesmo para pessoas que residem em regiões com níveis consideráveis médios ou altos de poluição do ar.

Do ponto de vista prático, seria interessante uma ampla rede de monitoramento da qualidade do ar em áreas urbanas, com alerta não só para dias mais poluídos como também para mensurações de temperaturas e umidades extremas. As políticas públicas devem investir infra estruturalmente na criação de espaços verdes e ciclovias afastadas do tráfego intenso, para reduzir a exposição a poluentes do ar durante a prática de atividades físicas (Aserkar et al. 2023).

É necessário considerar a implementação de medidas para reduzir as emissões de poluentes, principalmente em áreas com alta densidade populacional e tráfego veicular intenso (Cardinali et al. 2024). A randomização da localidade com alternância semanal do horário de coleta, ora iniciando em ambiente “indoor”, ora iniciando em ambiente “outdoor”, buscou equalizar a influência do ambiente sob os participantes.

Dentre as limitações deste estudo citamos o perfil da amostra, predominantemente de autônomos e estudantes, cuja possibilidade de flexibilização de horários de trabalho foi facilitada, composta principalmente por indivíduos jovens, saudáveis e fisicamente ativos, que pode ter limitado a detecção de efeitos agudos da poluição do ar, já que populações mais vulneráveis, como idosos ou indivíduos com doenças crônicas, podem ser mais sensíveis aos efeitos da poluição do ar, entretanto, recrutar uma amostra de portadores de comorbidades cardíacas ou respiratórios com um perfil etário mais alto, é menos acessível.

Além disso, a curta duração da exposição dos indivíduos pode não ter sido suficiente para desencadear respostas hemodinâmicas significativas. Estudos futuros devem incluir amostras maiores e mais diversificadas, com indivíduos de diferentes faixas etárias, níveis de atividade física e condições de saúde, para avaliar os efeitos da poluição do ar em populações mais vulneráveis. Além disso, seria interessante investigar os efeitos de exposições mais prolongadas à poluição do ar, em diferentes atividades não só analisando as variáveis hemodinâmicas, como também em dosagens sanguíneas e outras medidas corporais.

Outras medidas de intervenções para reduzir a exposição à poluição do ar durante a prática de atividades físicas, deveriam incluir o uso de máscaras de filtragem de ar, e criação de espaços exclusivos com rotas de exercício em áreas verdes (Janjua et al., 2021; Pacitto et al., 2019).

5. Conclusão

As maiores diferenças ocorreram nas variáveis ambientais, com destaque para as concentrações de $MP_{2,5}$, que excederam em três vezes o padrão diário estabelecido pela OMS. Apesar disto, não foram observados efeitos agudos significativos em altos níveis de $MP_{2,5}$ sobre as variáveis hemodinâmicas durante o Teste de Caminhada de 6 Minutos (TC6M).

As correlações entre variáveis ambientais e hemodinâmicas foram modestas tanto em ambientes abertos quanto fechados, com maior influência ambiental sobre a frequência respiratória (FR), e a distância percorrida (DPTC6M), possivelmente devido ao perfil da amostra, composta por indivíduos jovens, funcionais e saudáveis.

Destaca-se a necessidade de políticas públicas que reduzam poluição do ar, desenvolvendo ambientes tanto “indoor” quanto “outdoor” com melhor qualidade do ar para a prática de exercícios, especialmente em áreas urbanas com alta densidade de tráfego.

A sub-representação da amostra, composta predominantemente por indivíduos jovens, sem comorbidades e expostos por curtos períodos pode ter reduzido a robustez das associações, o que não afasta a possibilidade de alterações de biomarcadores sanguíneos, não mensurados no presente estudo.

Pesquisas futuras devem investigar os efeitos da poluição do ar em populações mais vulneráveis, em diferentes cenários de exposição, incluindo condições climáticas extremas que se consiga quantificar a influência do ambiente sobre a performance dos indivíduos.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Iguazu – UNIG, pelo apoio logístico para o desenvolvimento desse estudo.

7. Referências

- 1- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2022**. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 maio 2024.
- 2- Pereira, L. A. G., & Lessa, S.N. (2011). O processo de planejamento e desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil. **Caminhos de Geografia**, 12(40):26–45. <https://doi.org/10.14393/RCG124016414>.
- 3- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 490, de 16 de novembro de 2018. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE**. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=767.
- 4- Moura P. H., Moreno A. M., Santos D. W. L., Sobreira P. G. P., Silva F. P., & Maia L. F. P. G. (2020). Poluição do ar e hospitalizações por doenças cardiopulmonares na cidade de Nova Iguaçu: estudo de coorte retrospectiva. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 24(3): 493-504. <https://doi.org/10.22478/ufpb.2317-6032.2020v24n3.51396>.
- 5- Jacobs L., Nawrot T. S., de Geus B., Meeusen R., Degraeuwe B., Bernard A. (2010). Subclinical responses in healthy cyclists briefly exposed to traffic-related air pollution: an intervention study. **Environ. Health**, 9:64. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-64>
- 6- Huang M., Chen J., Yang Y., Yuan H., Huang Z., Lu Y. (2021). Effects of ambient air pollution on blood pressure among children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. **J. Am. Heart Assoc.**, 10(10): e017734. <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.017734>.
- 7- Coripio I. C., Souza K. A. da S., Trevisan I. B., Ferreira A. D., Tacao G., Ramos E. M. C., & Ramos D. (2024). Efeitos do exercício aeróbico e poluição atmosférica sobre marcador inflamatório pulmonar em indivíduos saudáveis. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, 24(2), e15142. <https://doi.org/10.25248/reas.e15142.2024>.
- 8- IHME. Institute for Health Metrics and Evaluation (2024). **Global Burden of Disease - Risk Factors**. 2024. Disponível em: <https://www.healthdata.org/research-analysis/health-risks-issues/air-pollution>. Acesso em: 13/11/2024.
- 9- OMS. Organização Mundial da Saúde. **Ambiente (outdoor) air pollution**. WHO, 2022. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 25 maio 2024.

- 10- Guo C., Yu T., Chang L.-Y., Lin C., Yang H. T., Bo Y. (2021). Effects of air pollution and habitual exercise on the risk of death: a longitudinal cohort study. **CMAJ**, 193(32): E1240-E1249. [https://doi: 10.1503/cmaj.202729](https://doi.org/10.1503/cmaj.202729).
- 11- Byun G., Kim S., Choi Y., Kim A., AiMS-Create Team, Lee J.-T. (2024). Long-term exposure to PM_{2.5} and mortality in a national cohort in South Korea: effect modification by community deprivation, medical infrastructure, and greenness. **BMC Public Health**, 24(1):1266. [https://doi:10.1186/s12889-024-18752-y](https://doi.org/10.1186/s12889-024-18752-y).
- 12- DETRAN. 2014 **Estatísticas**. Disponível em: https://www.detran.rj.gov.br/_estatisticas.veiculos/05.asp. Acesso em: 04 jun 2024.
- 13- Fermino R., & Reis R. (2013). Variáveis individuais, ambientais e sociais associadas com o uso de espaços públicos abertos para a prática de atividade física: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, 18(5):523. <https://doi.org/10.12820/rbafs.v.18n5p523>
- 14- Ramos C. A., Reis J. F., Almeida T., Alves F., Wolterbeek H. T., Almeida S. M., et al. (2015). Estimating the inhaled dose of pollutants during indoor physical activity. **Sci. Total Environ.**, 527-528:111-8. [https://doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.04.120](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.120).
- 15- Cuissi, R. C. (2014). **Efeitos da poluição atmosférica no sistema respiratório de indivíduos praticantes de exercício físico aeróbico em ambiente aberto e fechado**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista: Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.
- 16- Brooks D., Solway S., Weinacht K., Wang D., Thomas S. (2003). Comparison between an indoor and an outdoor 6-minute walk test among individuals with chronic obstructive pulmonary disease. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, 84(6):873-6. [https://doi: 10.1016/s0003-9993\(03\)00011-x](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(03)00011-x).
- 17- Holland A. E., Rasekaba T., Fiore J. F. Jr., Burge A. T., Lee A. L. (2015). The 6-minute walk distance cannot be accurately assessed at home in people with COPD. **Disabil. Rehabil.**, 37(12):1102-6. [https://doi: 10.3109/09638288.2014.956815](https://doi.org/10.3109/09638288.2014.956815)
- 18- Huang M., Chen J., Yang Y., Yuan H., Huang Z., Lu Y.(2021). Effects of ambient air pollution on blood pressure among children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. **J. Am. Heart Assoc.**, 10(10):e017734. [https://doi:10.1161/JAHA.120.017734](https://doi.org/10.1161/JAHA.120.017734).
- 19- Qiu, Z., Wang, W., Zheng, J., & Lv, H. (2019). Exposure assessment of cyclists to UFP and PM on urban routes in Xi'an, China. **Environ Pollut.** 250:241-250. [https://doi:10.1016/j.envpol.2019.03.129](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.129).
- 20- Guo C., Yu T., Lin C., Chang L.-Y., Bo Y., Wong M. C. S., Tam T., Lau A. K. H., Lao X. Q. (2022). Habitual Exercise, Air Pollution, and Pneumonia Mortality: A Longitudinal Cohort Study of Approximately 0.4 Million Adults. **Am J Epidemiol**, 191(10):1732-1741. [https://doi:10.1093/aje/kwac113](https://doi.org/10.1093/aje/kwac113).
- 21- Aserkar A. A., Godla S. R., El-Ebiary Y. A. B., Krishnamoorthy, & Ramesh J. V. N. (2023). Real-time air quality monitoring and public health alerts in urban areas: A smart city approach. **Environ. Sci. Technol.**, 57(8): 2985-2996. [https://doi:10.14569/IJACSA.2024.0150487](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150487).

- 22- Cardinali M., Beenackers M. A., Timmeren A. V., & Pottgiesser U. (2024). Urban green spaces, self-rated air pollution and health: A sensitivity analysis of green space characteristics and proximity in four European cities. **Health Place**, 89: 103300. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2024.103300>
- 23- Janjua S, Powell P, Atkinson R, Stovold E, Fortescue R. (2021). Individual-level interventions to reduce personal exposure to outdoor air pollution and their effects on people with long-term respiratory conditions. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, 9;8(8):CD013441. <https://doi:10.1002/14651858.CD013441.pub2>.
- 24- Pacitto A., Amato F., Salmatonidis A., Moreno T., Alastuey A., Reche C., Buonanno G., Benito C., Querol X. (2019). Effectiveness of commercial face masks to reduce personal PM exposure. **Science of the Total Environment**, 650:1582-1590. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013441.pub2>