

Como citar este artigo:

Base LH, Oliveira JR, Maia LC, Antão JY, Ferreira Filho C, Ferreira C. Efeito da poluição atmosférica na modulação autonômica da frequência cardíaca em indivíduos com excesso de peso. *einstein* (São Paulo). 2020;18:eAO5100. http://dx.doi.org/10.31744/einstein_journal/2020A05100

Autor correspondente:

Luis Henrique Base
Rua Napoleão de Barros, 715 – Vila Clementino
CEP: 04024-002 – São Paulo, SP, Brasil
Tel.: (11) 5576-4848
E-mail: luishenriquebase81@yahoo.com.br

Data de submissão:

29/3/2019

Data de aceite:

26/3/2020

Conflitos de interesse:

não há.

Copyright 2020



Esta obra está licenciada sob
uma Licença *Creative Commons*
Atribuição 4.0 Internacional.

ARTIGO ORIGINAL

Efeito da poluição atmosférica na modulação autonômica da frequência cardíaca em indivíduos com excesso de peso

Effect of air pollution on the autonomic modulation of heart rate in overweight adults

Luis Henrique Base¹, Juliana Regis da Costa e Oliveira¹, Laura Cristina Pereira Maia², Jennifer Yohanna Ferreira de Lima Antão², Celso Ferreira Filho¹, Celso Ferreira¹

¹ Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

² Faculdade de Medicina do ABC, Santo André, SP, Brasil.

DOI: 10.31744/einstein_journal/2020A05100

RESUMO

Objetivo: Analisar o efeito da poluição atmosférica na variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos com excesso de peso. **Métodos:** Foram analisados 46 indivíduos adultos, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 49 anos e índice de massa corporal $>25\text{kg/m}^2$. Todos os voluntários eram estudantes da Educação de Jovens e Adultos em duas cidades do estado de São Paulo. Foram coletadas informações clínicas, demográficas e antropométricas de cada indivíduo, bem como a variabilidade da frequência cardíaca, por meio dos índices do domínio do tempo, geométricos e de frequência. Para a análise da qualidade do ar, foram investigadas as variáveis concentração de dióxido de carbono, material particulado, temperatura e umidade do ar. A análise se deu por estatística descritiva e analítica, adotando-se nível de significância de 5%. **Resultados:** Ocorreu redução na variabilidade da frequência cardíaca geral nos indivíduos com excesso de peso por meio dos índices geométricos (desvio padrão a longo prazo dos intervalos RR contínuos, e a razão entre as variações curta e longa dos intervalos RR) e o domínio do tempo (desvio padrão da média de todos os intervalos RR normais). Índices responsáveis pelo controle parassimpático mostraram-se com tendência de queda em seus valores, bem como o índice de baixa frequência que representava a ação do simpático, embora com valores não significativos. **Conclusão:** Indivíduos com excesso de peso expostos à poluição atmosférica apresentaram menor variabilidade da frequência cardíaca em comparação ao Grupo Controle.

Descritores: Poluição ambiental; Poluição do ar; Sistema cardiovascular; Sistema nervoso autônomo; Frequência cardíaca; Obesidade; Sobre peso

ABSTRACT

Objective: To analyze the effect of air pollution on heart rate variability in overweight individuals. **Methods:** A total of 46 adult individuals, both sexes, aged between 18 and 49 years and with body mass index $>25\text{kg/m}^2$ were analyzed. All volunteers were students from public schools of two cities in the state of São Paulo. The clinical, demographic and anthropometric data of each individual, as well as heart rate variability through time domain, geometric and frequency indices were collected. For the air quality analysis, the following variables were investigated: concentration of carbon dioxide, particulate matter, temperature and relative humidity. The analysis was carried out with descriptive and analytical statistics, adopting a level of significance of 5%. **Results:** There was a reduction in overall heart rate variability in overweight individuals

by the following indices: mean standard deviation of all normal RR intervals, long-term standard deviation of continuous RR intervals, ratio of short-and long-term standard deviation of continuous RR intervals. In addition, the indices responsible for parasympathetic control showed a downward trend in their values, as well as the low frequency index, which represented sympathetic action, although not significant. **Conclusion:** Overweight individuals exposed to air pollution had lower heart rate variability than the Control Group.

Keywords: Environmental pollution; Air pollution; Cardiovascular system; Autonomic nervous system; Heart rate; Obesity; Overweight

INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares (DCV) estão dentre as principais causas de mortes no mundo. Em 2017, por exemplo, cerca de 17,8 milhões de pessoas morreram por DCV, sendo 8,9 milhões de mortes por doença cardíaca isquêmica e 6,2 milhões de mortes por acidente vascular cerebral (AVC).⁽¹⁾ No Brasil, as DCV são também consideradas uma das principais causas de morte, atingindo aproximadamente 20% de todas as mortes brasileiras em indivíduos acima de 30 anos de idade.⁽²⁾

Um dos fatores de risco para surgimento dessas doenças é, entre outros, o excesso de peso.⁽³⁾ A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica os níveis de sobrepeso e obesidade, por intermédio da fórmula do índice de massa corporal (IMC) em 25 a 29,9kg/m² e >30kg/m², respectivamente. A obesidade ainda estabelece um ponto de corte para o risco cardiovascular por meio da medida de circunferência abdominal, considerando risco aumentado valor ≥ 94 cm em homens e 80cm em mulheres, e risco aumentado substancial para ≥ 102 cm em homens e 88cm em mulheres.⁽⁴⁾

A gordura corporal na região abdominal acima dos valores aceitáveis de referência tem sido associada à maior incidência de cardiopatias, AVC, hipertensão arterial, dislipidemias, diabetes, aterosclerose, doenças coronarianas, entre outras.⁽⁵⁾

Outro fator de risco para as DCV é a poluição atmosférica, considerada o décimo principal fator de risco de morte mundial. Ela consiste em partículas suspensas no ar, conhecidas como material particulado (MP), responsáveis pela maioria desses efeitos adversos.⁽⁶⁾ Investigação sobre a relação entre poluição do ar e efeitos no sistema cardiovascular demonstrou que a cada aumento de 10 μ g/m³ de MP com diâmetro menor que 10 μ m (MP₁₀) e MP com diâmetro menor que 2,5 μ m (MP_{2,5}) ocorreu aumento nos índices de hospitalização e mortalidade cardiovascular.⁽⁷⁾ Esse fato pode ser explicado devido a uma série de modificações fisiopatológicas que ocorre no sistema cardiovascular, envolvendo inflamação, coagulação e ritmo cardíaco.^(8,9)

Assim, pequenas alterações cardíacas podem ser detectadas por meio do sistema nervoso autônomo (SNA), que influencia no controle do sistema cardiovascular, por intermédio das vias parassimpática e simpática, usando uma ferramenta bastante utilizada: a variabilidade da frequência cardíaca (VFC).⁽⁸⁾

Esse método é capaz de caracterizar e detectar uma série de condições mórbidas, sugerindo que a VFC possa ser um marcador da perda da homeostase, contribuindo, assim, para diagnósticos mais precoces.⁽⁸⁾

Faz-se, então, necessária a compreensão do efeito da poluição atmosférica na modulação autonômica da frequência cardíaca de adultos com excesso de peso, como forma de identificar um marcador de prognóstico cardiovascular, bem como valores de referência para melhor intervenção terapêutica.

OBJETIVO

Analisar o efeito da poluição atmosférica na modulação autonômica da frequência cardíaca em indivíduos com excesso de peso.

MÉTODOS

Áreas selecionadas

Estudo transversal, submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo, e registrado com o número de protocolo 1.113.059 e CAAE: 45729015.4.0000.5505, obedecendo à resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde de 12 de dezembro de 2012. Todos os procedimentos adotados foram explicados aos participantes, como os objetivos do estudo e os parâmetros coletados, bem como possíveis riscos e benefícios de sua participação. Aqueles que concordaram em participar assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

A área contaminada, município de Cubatão, foi determinada baseando-se nos estudos realizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB),^(10,11) que comprovou fontes de substâncias tóxicas nesse território. O relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo⁽¹²⁾ mostrou altos índices de poluição de ar no município. A área controle, o município de Peruíbe, foi escolhida por ser a cidade mais distante em relação à área experimental dentro da Baixada Santista e por não existirem evidências de altos níveis de poluição atmosférica na região segundo a CETESB.

Sujeitos do estudo

Todos os voluntários eram estudantes da Educação de Jovens e Adultos (EJA) de escolas municipais e/ou es-

taduais de cada município, de ambos os sexos, com IMC $>25\text{kg/m}^2$, idade entre 18 e 49 anos, e que residiam nas áreas selecionadas. Os critérios de exclusão considerados foram: qualquer patologia associada ou uso de medicamento contínuo que interferissem no sistema cardíaco, erro maior que 5% nos dados da VFC e aqueles com valores extremos (*outlines*) nas variáveis estudadas.

O estudo foi realizado entre os meses de março e junho de 2016, contando com a participação de todos que se interessaram em colaborar com a pesquisa (amostra de conveniência).

Medidas de avaliação

Primeiramente, foram coletados dados pessoais, como sexo, idade, escolaridade, ato de fumar, doença existente e uso de medicamento contínuo, e antropométricos, como peso, altura, circunferência abdominal e IMC. O peso foi determinado por balança digital (Marte[®], São Paulo, Brasil), com capacidade até 150kg e subdivisões até 100g. A altura foi determinada utilizando estadiômetro (Altuxata[®], São Paulo, Brasil) em madeira, de 2,13m, com subdivisões em centímetros e milímetros. A circunferência abdominal foi obtida no menor ângulo entre as últimas costelas e a crista ilíaca, por meio de fita métrica inelástica. O IMC foi calculado pela fórmula:⁽¹³⁾ $\text{peso}/\text{altura}^2$, com o peso em quilogramas e a altura em metros. A pressão arterial sistólica (PAS), a pressão arterial diastólica (PAD) e frequência cardíaca (FC) foram também registradas.

Também foi checado o grau de atividade física por intermédio do questionário *International Physical Activity Questionnaire* (IPAQ), que o classificou como alto, médio e baixo nível de atividade física.⁽¹⁴⁾

Variabilidade da frequência cardíaca

A VFC foi realizada em uma sala sob circunstâncias estáveis de temperatura (21 a 23°C) e de umidade (40% a 60%), no período noturno entre às 19h e 21h, para padronizar os efeitos do ritmo circadiano. Os indivíduos foram posicionados na postura sentada com respiração espontânea durante 20 minutos. A cinta bem como o monitor cardíaco foram posicionados no tórax, alinhado com o terço distal do esterno e o receptor de FC no punho do indivíduo.

Os dados foram registrados no relógio Polar RS800CX e transferidos para o computador, para serem analisados pelo software *Polar Precision Performance*. Foram utilizados mil intervalos dentro dos intervalos RR consecutivos. Após, foi realizada filtragem manual, por meio do programa Microsoft Excel, para eliminação de batimentos ectópicos prematuros e artefatos. Foram selecionados somente séries com mais de 95% de batimentos regulares.^(8,15,16)

O software utilizado para a avaliação da VFC foi o Kubios Heart Rate Variability (Kubios HRV), por meio da análise dos índices lineares, domínio do tempo e da frequência, e dos índices geométricos.^(8,15,16) No domínio do tempo, foram considerados os índices raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes (rMSSD), expressa em milissegundos; porcentagem das diferenças sucessivas do intervalo RR cujo valor absoluto excedeu 50ms (pNN50); e desvio padrão de todos os intervalos RR normais (SDNN) expresso em milissegundos. Entre os índices geométricos, foram considerados: índice triangular (RRtri), interpolação triangular de histograma de intervalos NN (TINN) e *plot* de Poincaré composto por desvio padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento em curto prazo (SD1), desvio padrão a longo prazo dos intervalos RR contínuos (SD2) e relação de ambos (SD1/SD2) mostra a razão entre as variações curta e longa dos intervalos RR. No domínio da frequência, foram utilizados os componentes espectrais de baixa frequência (LF), na faixa entre 0,04 a 0,15Hertz, expressa em ms^2 e unidades absolutas (nu); de alta frequência (HF), na faixa de variação de 0,15 a 0,4Hertz, expressa em ms^2 e nu; e a razão entre estes componentes LF/HF.^(8,15,16)

Qualidade do ar

Os dispositivos portáteis utilizados foram o AZ Instrument 77535 Medidor de CO_2 /Temp./RH, para medir a temperatura, a umidade relativa (UR) e as concentrações de dióxido de carbono, e contador portátil de partículas HHP + da *Met One Instruments*, para medir a concentração de MP de 0,3 a $3\mu\text{m}$. Os equipamentos foram colocados a 1,5m acima do solo, para obter uma medição confiável. Em seguida, os dados obtidos nos pontos de medição foram analisados e seus valores médios, calculados.

Para determinar a qualidade do ar, foram realizadas medições em locais de referência em cada município (valores de referência padrão). Em Cubatão, foi selecionada a Praça dos Emancipadores, onde fica a prefeitura, e, em Peruíbe, foi incluída a Praça Monsenhor Lino dos Passos, onde fica a paróquia da cidade, além da coleta de dados da qualidade do ar dentro da sala de aula (ambiente interno da coleta) e no pátio da escola (ambiente externo) também em ambos os municípios. As coletas da qualidade do ar em ambiente interno/externo foram realizadas no período noturno, enquanto a coleta nos locais de referência foi feita no período vespertino entre 13h e 14h.

Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram conduzidas usando o software R, versão 3.5.1, e, para todos os testes, fixou-se em 5% ($p < 0,05$) o nível para rejeição da hipótese de nulidade. Os resultados foram expressos em média e desvio padrão para dados com distribuição normal, e mediana e intervalo interquartil para aqueles com distribuição não normal.

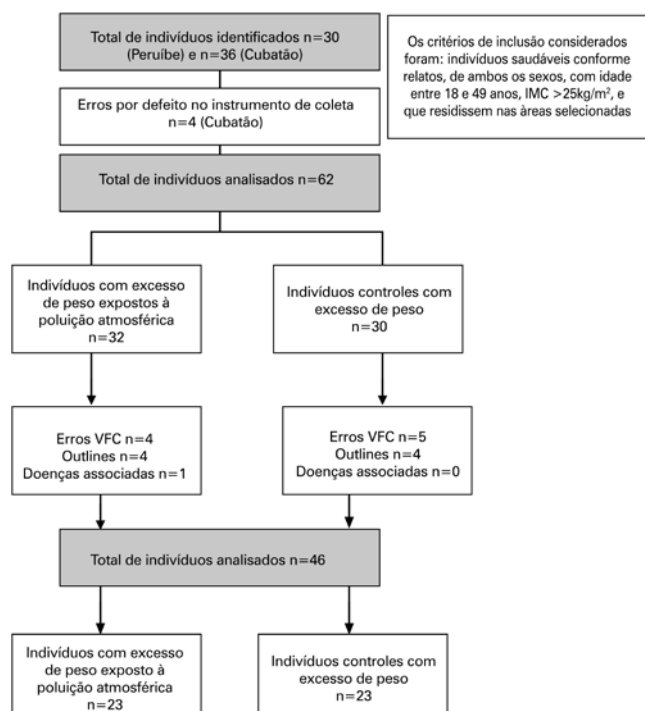
Aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade das distribuições, bem como a transformação da raiz quadrada e logarítmica, quando necessário.

Para comparação entre os grupos das variáveis categóricas, foram utilizados o teste χ^2 de Person e teste exato de Fisher, e, para as variáveis numéricas, foram utilizados o teste de Mann-Whitney e o teste t de Student.

RESULTADOS

Características gerais da população

Inicialmente, 66 indivíduos foram identificados, dos quais quatro apresentaram erros no instrumento de coleta (cardiofrequencímetro). Dos 62 indivíduos analisados, 46 foram incluídos nas análises finais e compuseram os Grupos Controle, formado por indivíduos controles com excesso de peso ($n=23$), e Experimental, de indivíduos com excesso de peso expostos à poluição atmosférica ($n=23$), como visto na figura 1.



IMC: índice de massa; VFC: variabilidade da frequência cardíaca.

Figura 1. Etapas de seleção dos indivíduos do estudo

Os dois grupos analisados não mostraram diferenças em relação aos dados antropométricos, demográficos e clínicos. As medianas de idade dos indivíduos foram de 36 e 41 anos para os Grupos Experimental e Controle, respectivamente, sendo 13 indivíduos (56,5% da população) do sexo feminino no Grupo Experimental e 13 indivíduos (56,5% da população) do masculino para o Grupo Controle. Em ambos os grupos, 69,6% dos indivíduos apresentaram IMC indicativo de sobrepeso, com mediana de 27,6kg/m² e 28,6kg/m² para os Grupos Controle e Experimental, respectivamente. As variáveis antropométricas, demográficas e clínicas da população estudada estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização e comparação das características gerais dos indivíduos residentes nos municípios de Cubatão e Peruíbe

Variáveis	GC (n=23)	GE (n=23)	Valor de p
Idade, anos	36 (25-40,5)	41 (29-45,5)	0,187*
Escolaridade, anos	5 (4,5-9,5)	6 (2,5-8)	0,635*
Peso corporal, kg	77,5 (69,7-82,4)	76,4 (69-83,4)	0,766*
IMC, kg/m ²	27,6 (26,8-31,1)	28,6 (26,4-30,7)	0,877*
FC, bpm	73 (66-78,5)	72 (63,5-81,5)	0,652*
PAS, mmHg	120 (110-130)	120 (120-130)	0,229*
PAD, mmHg	80 (80-82,5)	80 (75-85)	0,858*
Altura, m	1,64±0,09	1,63±0,09	0,617 [†]
Circunferência abdominal, cm	90±9,21	93,8±9,51	0,182 [†]
Sexo			0,555 [‡]
Masculino	56,5 (13)	43,4 (10)	
Feminino	43,4 (10)	56,5 (13)	
IPAQ			0,732 [§]
Baixo	4,4 (1)	30,4 (7)	
Médio	65,2 (15)	60,9 (14)	
Alto	30,4 (7)	8,7 (2)	
Fumante			0,108 [§]
Não	100 (23)	73,9 (17)	
Sim	0 (0)	26,1 (6)	
Classificação do IMC			0,571 [§]
Abaixo do peso (<18,5kg/m ²)	0 (0)	0 (0)	
Peso normal (18,5>24,9kg/m ²)	0 (0)	0 (0)	
Sobrepeso (25>29,9kg/m ²)	69,6 (16)	69,6 (16)	
Obesidade (≥30kg/m ²)	30,4 (7)	30,4 (7)	

Resultados expressos por mediana e intervalo interquartil (Q1 e Q3).

* teste de Mann-Whitney; [†] teste t de Student; [‡] teste χ^2 de Person; [§] teste exato de Fisher.

GC: Grupo Controle; GE: Grupo Experimental; IMC: índice de massa corporal; FC: frequência cardíaca; PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; IPAQ: International Physical Activity Questionnaire.

Características da qualidade do ar

Em relação à caracterização do meio ambiente externo, de acordo com os valores de referência padrão nos municípios de Cubatão e Peruíbe, todos os itens foram estatisticamente significativos, com valores maiores no Grupo Experimental quando comparado com o Grupo Controle, como visto na tabela 2.

No ambiente interno da escola (sala de aula), apenas os itens dióxido de carbono e temperatura foram significantes, com valores maiores no Grupo Experimental quando comparado ao Grupo Controle (Tabela 3).

Tabela 2. Comparação das características do meio ambiente externo (valor de referência) nos municípios de Cubatão e Peruíbe

Variáveis	Média/mediana	IC/IQR		Valor de p
CO ₂ , ppm				<0,001*
GC	454,5	450,7	458,2	
GE	479,1	473,1	485,1	
Temperatura, °C				<0,001*
GC	25,3	24,0	26,6	
GE	20,2	19,5	20,9	
Umidade, %				0,003†
GC	46,4	44,9	46,7	
GE	77,6	75,1	78,4	
MP 0,3 (x10 ⁶)				0,001†
GC	59,5	59,5	62,7	
GE	214,7	211,4	216,8	
MP 0,5 (x10 ⁶)				0,001†
GC	4,9	4,7	5,4	
GE	92,3	89,5	93,2	
MP 1,0 (x10 ⁶)				0,001†
GC	1,1	1,0	1,1	
GE	11,6	10,2	12,0	
MP 3,0 (x10 ⁶)				0,001*
GC	0,9	0,9	0,9	
GE	2,3	1,8	2,4	

* dados paramétricos (média e IC); † dados não paramétricos (mediana e IQR).
IC: intervalo de confiança; IQR: intervalo interquartil (Q1 e Q3); CO₂: dióxido de carbono; GC: Grupo Controle; GE: Grupo Experimental; MP: material particulado.

Tabela 3. Comparação das características do ambiente interno da escola, de acordo com variáveis numéricas nos municípios de Cubatão e Peruíbe

Variáveis	Mediana	IQR (Q1 – Q3)		Valor de p
CO ₂ , ppm				<0,001
GC	528,0	520,7	542,2	
GE	569,0	546,0	683,0	
Temperatura, °C				<0,001
GC	18,0	18,0	19,0	
GE	19,0	19,0	20,0	
Umidade, %				0,409
GC	73,9	72,2	75,6	
GE	85,6	69,6	87,3	
MP 0,3 (x10 ⁶)				0,724
GC	129,6	59,7	136,9	
GE	237,3	32,2	252,6	
MP 0,5 (x10 ⁶)				0,852
GC	7,9	4,1	8,6	
GE	79,5	1,9	92,1	
MP 1,0 (x10 ⁶)				0,852
GC	1,1	1,0	1,2	
GE	8,1	0,3	9,7	
MP 3,0 (x10 ⁶)				0,851
GC	0,8	0,8	0,9	
GE	2,0	0,2	2,3	

teste de Mann-Whitney.
IQR: intervalo interquartil; CO₂: dióxido de carbono; GC: Grupo Controle; GE: Grupo Experimental; MP: material particulado.

Em relação à caracterização do ambiente externo da escola (pátio da escola), os itens dióxido de carbono e umidade mostraram-se significantes, com valores maiores no Grupo Experimental quando comparado ao Grupo Controle (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação das características do meio ambiente externo (pátio da aula) da escola, de acordo com variáveis numéricas nos municípios de Cubatão e Peruíbe

Variáveis	Média/mediana	IC/IQR		Valor de p
CO ₂ , ppm				0,005*
GC	471,0	465,0	476,5	
GE	539,0	466,0	554,0	
Temperatura, °C				0,295*
GC	17,0	16,0	17,0	
GE	17,0	16,0	17,0	
Umidade, %				0,001†
GC	82,9	80,9	84,8	
GE	88,4	85,6	91,2	
MP 0,3 (x10 ⁶)				0,221*
GC	127,2	66,1	161,8	
GE	101,9	46,7	220,7	
MP 0,5 (x10 ⁶)				0,645*
GC	7,7	5,0	12,1	
GE	8,5	2,6	111,7	
MP 1,0 (x10 ⁶)				0,701*
GC	1,1	1,0	1,5	
GE	0,5	0,4	15,5	
MP 3,0 (x10 ⁶)				0,352*
GC	0,8	0,8	0,9	
GE	0,5	0,3	3,8	

* dados não paramétricos (mediana e IQR); † dados paramétricos (média e IC).
IC: intervalo de confiança; IQR: intervalo interquartil; CO₂: dióxido de carbono; GC: Grupo Controle; GE: Grupo Experimental; MP: material particulado.

Variabilidade da frequência cardíaca

Os itens SDNN, SD2, RRTri e TINN, que representam a modulação da VFC geral, apresentaram significância após estatística analítica (Tabela 5). De modo geral, ocorreu diminuição dessas variáveis no Grupo Experimental em comparação ao Grupo Controle.

Tabela 5. Índices lineares, domínio do tempo e da frequência, e geométricos da variabilidade da frequência cardíaca dos grupos selecionados

Índices da VFC	GC	GE	Valor de p
	(n=23)	(n=23)	
	Média (IC)	Média (IC)	
SDNN, ms	48,2 (43,2-53,1)	38,7 (33,5-43,8)	0,012*
rMSSD, ms	27,5 (23,5-31,4)	22,6 (19,3-25,8)	0,061†
pNN50, %	7,9 (4,4-11,4)	4,7 (2,9-6,6)	0,079†

continua...

...Continuação

Tabela 5. Índices lineares, domínio do tempo e da frequência, e geométricos da variabilidade da frequência cardíaca dos grupos selecionados

Índices da VFC	GC	GE	Valor de p
	(n=23) Média (IC)	(n=23) Média (IC)	
LFms ²	738,1 (601,8-874,3)	541,8 (403-680,5)	0,054*
LFnu	73,8 (69-78,5)	71,6 (67,1-76)	0,492*
HFms ²	254,8 (183,9-325,6)	208 (145,2-270,7)	0,441†
HFnu	26 (21,2-30,7)	28,3 (23,8-32,7)	0,489†
LF/HF	3,6 (2,7-4,5)	3,1 (2,3-3,9)	0,460†
SD1, ms	19,5 (16,7-22,2)	16 (13,7-18,2)	0,062†
SD2, ms	65,1 (58,2-71,9)	52,1 (44,9-59,2)	0,013*
SD1/SD2, ms	0,304 (0,267-0,340)	0,317 (0,279-0,354)	0,625*
RRTri, ms	12,9 (11,6-14,1)	10,3 (8,9-11,6)	0,009*
TINN, ms	214,3 (193,8-234,7)	172,8 (150,5-195)	0,010*

* teste t de Student sem ajuste; † teste t de Student após ajuste com raiz quadrada; ‡ teste t de Student após ajuste com transformada logarítmica.

VFC: variabilidade da frequência cardíaca; GC: Grupo Controle; GE: Grupo Experimental; IC: intervalo de confiança; SDNN: desvio padrão de todos os intervalos RR normais; rMSSD: raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes; pNN50: percentagem das diferenças sucessivas do intervalo RR cujo valor absoluto excedeu 50ms; LF: componente de baixa frequência; nu: unidades normalizadas; HF: componente de alta frequência; SD1: desvio padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento em curto prazo; SD2: desvio padrão a longo prazo dos intervalos RR contínuos; relação SD1/SD2: dispersão de pontos perpendiculares à linha de dispersão identidade de pontos ao longo da identidade da linha; RRTri: índice triangular; TINN: interpolação triangular de histograma de intervalos NN.

DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo mostraram que o Grupo Experimental composto por indivíduos com excesso de peso expostos à poluição atmosférica apresentou diminuição nos valores dos índices SDNN, SD2, RRTri e TINN (que correspondem à modulação global da VFC) quando comparado ao Grupo Controle, sugerindo que, nestes indivíduos, a VFC encontra-se reduzida.

A literatura sugere padronização dos valores dos índices da VFC entre os indivíduos supostamente saudáveis. Uma tentativa foi realizada no estudo de Sammito et al.,⁽¹⁷⁾ que registraram os valores da VFC de longa duração (24 horas) com a utilização do eletrocardiograma (ECG) em adultos saudáveis. Como resultado, os autores observaram diferenças nos valores entre as diferentes idades e sexo. Entre as variáveis do domínio do tempo, os valores da média das variáveis SDNN e rMSSD para os homens de 30 a 40 anos foram 48,98 e 40,71 milissegundos, respectivamente. Em relação à variável pNN50 para a mesma faixa etária, foi 13,23%. Entre as mulheres de 30 a 40 anos, os valores das médias foram menores: 42,39 para SDNN, 36,50 para rMSSD e 11,43% para pNN50. No mesmo estudo,⁽¹⁷⁾ os índices do domínio da frequência foram também pesquisados. Os valores da média das variáveis LF e HF em unidades normalizadas (LFnu e HFnu) para os homens de 30 a 40 anos foram 75,46 e 24,54, respectivamente. Entre os homens desta idade, a LF/HF foi 3,08. As mulheres de 30 a 40 anos apresentaram médias de 67,81 para LFnu, 32,19 para HFnu e 2,11 para LF/HF.⁽¹⁷⁾

Outro estudo, realizado por Sandercock et al.,⁽¹⁸⁾ também mensurou os valores da VFC em adultos sau-

dáveis, porém com gravação de curta duração (5 a 10 minutos) com a utilização do cardiofrequencímetro da marca Polar. Os valores dos índices da VFC variaram de acordo com a intensidade da prática física. Como resultado, os valores encontrados entre homens e mulheres, com IMC de 22 a 23kg/m², e média de idade de 23 anos (variando entre 18 e 33 anos), com baixo, moderado e alto nível de atividade física, foram 55, 75 e 64 milissegundos para SDNN; 56, 78 e 60 milissegundos para rMSSD; 58, 57 e 65 para LFnu; 42, 43 e 35 para HFnu; 6,95, 7,26 e 7,31ms² para LFms²; 6,59, 6,95 e 6,60 milissegundos ao quadrado para HFms²; e 2,0, 1,7 e 2,6 para LF/HF, respectivamente.⁽¹⁸⁾

De modo geral, os valores dos índices SDNN, rMSSD e pNN50 dos estudos citados (adultos saudáveis) apresentaram-se mais elevados quando comparados com os valores do Grupo Controle e Grupo Experimental desta pesquisa; já os valores dos índices do domínio da frequência mostraram-se variados, de acordo com o sexo e o nível de atividade física, sugerindo que o ganho de peso pode ser associado a uma diminuição da VFC, indicando descontrole autonômico.⁽¹⁹⁾ Esses achados corroboram outros estudos citados na literatura, que compararam indivíduos com sobrepeso e peso normal.⁽²⁰⁻²⁶⁾

Uma das possíveis explicações sobre essas alterações na VFC é a ativação do barorreflexo. Estudo⁽²⁷⁾ que testou a hipótese de que a sensibilidade do barorreflexo (SBR), avaliada pela medida indireta da pressão aórtica, está relacionada com a obesidade, selecionou um grupo de 30 mulheres com IMC de 30kg/m² e um grupo de 30 controles com IMC de 25kg/m². A SBR foi estimada pela atividade do SNA cardíaco pela VFC. Deste modo, o SBR foi menor em mulheres obesas; já os valores de HF e LF foram maiores nos participantes magros do que nos obesos (1.079,2 versus 224,1ms², e 411,8 versus 235,8ms², respectivamente) e o valor de LF/HF foi maior nos indivíduos obesos (0,82 versus 0,57). Concluiu-se, então, que o SBR é severamente reduzido em indivíduos obesos. O IMC, a idade e a atividade do sistema nervoso parassimpático são os principais determinantes da SBR. O comportamento do barorreflexo é de relevância clínica, pois, quando atenuado, representa fator prognóstico negativo nas DCV, comuns na obesidade.⁽²⁷⁾

Quando os indivíduos com excesso de peso estão expostos a poluentes atmosféricos, os valores da VFC mostram-se ainda mais alterados. Em geral, a literatura aponta relação inversa significativa entre a exposição a poluentes atmosféricos, principalmente ao MP, e diminuições nos índices SDNN, rMSSD, HF, até mesmo no LF para indivíduos com excesso de peso expostos a altos níveis dessas partículas atmosféricas.⁽²⁸⁻³⁴⁾ Contudo, no resultado do presente estudo, apenas o índice SDNN do domínio do tempo, e os índices SD2, RRTri

e TINN dos índices geométricos apresentaram redução significativa em comparação ao Grupo Controle, sugerindo alteração na variabilidade global. Os outros índices, como rMSSD, pNN50, LFms² e SD1, também demonstraram valores menores em relação ao Grupo Controle, embora não estatisticamente significativos, variando entre 0,054 e 0,07.

Limitações

O presente estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Algumas medições não puderam ser realizadas, como, por exemplo, a utilização da razão cintura-quadril, para análise do risco de desenvolvimento de DCV, que possibilitaria a melhor divisão entre os grupos. Outra restrição foi a perda amostral – cerca de 20 exclusões (30,3% de perda amostral) – em razão, principalmente, de erros na VFC. Assim, recomenda-se acréscimo de 31% no cálculo amostral em futuras pesquisas. Ademais, não foi realizada a coleta de outros poluentes, a qual permitiria demonstrar, com mais precisão, a exposição dos diferentes poluentes nos indivíduos estudados.

CONCLUSÃO

Indivíduos com excesso de peso expostos à poluição atmosférica apresentaram menor variabilidade da frequência cardíaca global quando comparado ao Grupo Controle. Além disso, as modulações parassimpática e simpática mostraram-se com tendência de queda, embora não significativa.

As descobertas desta pesquisa sugerem que os indivíduos com excesso de peso expostos à poluição atmosférica apresentaram desequilíbrio autonômico e, assim, uma maior suscetibilidade ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares.

INFORMAÇÃO DOS AUTORES

Base LH: <http://orcid.org/0000-0003-3867-8063>

Oliveira JR: <http://orcid.org/0000-0003-0092-146X>

Maia LC: <http://orcid.org/0000-0002-1583-6738>

Antão JY: <http://orcid.org/0000-0003-4108-6843>

Ferreira Filho C: <http://orcid.org/0000-0003-4940-0227>

Ferreira C: <http://orcid.org/0000-0002-7338-4493>

REFERÊNCIAS

- GBD 2017 Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national age-sex-specific mortality for 282 causes of death in 195 countries and territories, 1980-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018;392(10159):1736-88. Erratum in: *Lancet*. 2019;393(10190):e44. Erratum in: *Lancet*. 2018;392(10160):2170.
- Mansur AP, Favarato D. Trends in mortality rate from cardiovascular disease in Brazil, 1980-2012. *Arq Bras Cardiol*. 2016;107(1):20-5.
- Polanczyk CA. Cardiovascular risk factors in Brazil: the next 50 years! *Arq Bras Cardiol*. 2005;84(3):199-201.
- Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica (ABESO). Diretrizes Brasileiras de Obesidade 2016 [Internet]. 4a ed. São Paulo: ABESO; 2016 [citado 2019 Dez 27]. Disponível em: <https://abeso.org.br/wp-content/uploads/2019/12/Diretrizes-Download-Diretrizes-Brasileiras-de-Obesidade-2016.pdf>
- Martins IS, Marinho SP. The potential of central obesity anthropometric indicators as diagnostic tools. *Rev Saude Publica*. 2003;37(6):760-7.
- GBD 2017 Risk Factor Collaborators. Global, 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*. 2018;392(10159):1923-94. Erratum in: *Lancet*. 2019;393(10167):132. Erratum in: *Lancet*. 2019;393(10190):e44.
- Nogueira JB. Air pollution and cardiovascular disease. *Rev Port Cardiol*. 2009;28(6):715-33. Review.
- Vanderlei LC, Pastre CM, Hoshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2009;24(2):205-17. Review.
- Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996;93(5):1043-65.
- São Paulo (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Sistema estuarino de Santos e São Vicente [Internet]. São Paulo: CETESB; 2001 [citado 2020 Mar 18]. [Série Relatório Técnico]. Disponível em: http://www.acpo.org.br/biblioteca/06_areas_contaminadas_%20saturadas/relatorio_sistema_estuarino_santos_sv.pdf
- São Paulo (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013 [Internet]. São Paulo: CETESB; 2013 [citado 2019 Dez 28]. [Série Relatório Técnico]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/relatorio-aguas-superficiais-2013-parte1.pdf>
- São Paulo (Estado). Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017 [Internet]. São Paulo: CETESB; 2018 [citado 2019 Dez 28]. [Série Relatório Técnico]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2019/05/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2017.pdf>
- Lohman TG, Roche AF, Martorell R. Anthropometric standardization reference Manual. Champaign: Human Kinetics Books; 1988.
- International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). Guidelines for data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) – short and long forms [Internet]. Retrieved September; 2005 [cited 2019 Dec 20]. Available from: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5641f4c36143250eac8b45b7&assetKey=AS%3A294237418606593%401447163075131>
- Pumprla J, Howorka K, Groves D, Chester M, Nolan J. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *Int J Cardiol*. 2002;84(1):1-14. Review.
- Ribeiro JP, Moraes Filho RS. Variabilidade da Frequência cardíaca como instrumento de investigação do sistema nervoso autônomo. *Rev Bras Hipertens*. 2005;12(1):14-20.
- Sammito S, Böckelmann I. Reference values for time- and frequency-domain heart rate variability measures. *Heart Rhythm*. 2016;13(6):1309-16.
- Sandercock GR, Hardy-Shepherd D, Nunan D, Brodie D. The relationships between self-assessed habitual physical activity and non-invasive measures of cardiac autonomic modulation in young healthy volunteers. *J Sports Sci*. 2008;26(11):1171-7.

19. Costa J, Moreira A, Moreira P, Delgado L, Silva D. Effects of weight changes in the autonomic nervous system: a systematic review and meta-analysis. *Clin Nutr.* 2019;38(1):110-26.
20. Adachi T, Sert-Kuniyoshi FH, Calvin AD, Singh P, Romero-Corral A, van der Walt C, et al. Effect of weight gain on cardiac autonomic control during wakefulness and sleep. *Hypertension.* 2011;57(4):723-30.
21. Rossi RC, Vanderlei LC, Gonçalves AC, Vanderlei FM, Bernardo AF, Yamada KM, et al. Impact of obesity on autonomic modulation, heart rate and blood pressure in obese young people. *Auton Neurosci.* 2015;193:138-41.
22. Indumathy J, Pal GK, Pal P, Ananthanarayanan PH, Parija SC, Balachander J, et al. Association of sympathovagal imbalance with obesity indices, and abnormal metabolic biomarkers and cardiovascular parameters. *Obes Res Clin Pract.* 2015;9(1):55-66.
23. Müller MJ, Enderle J, Pourhassan M, Braun W, Eggeling B, Lagerpusch M, et al. Metabolic adaptation to caloric restriction and subsequent refeeding: the Minnesota Starvation Experiment revisited. *Am J Clin Nutr.* 2015;102(4):807-19.
24. Yadav RL, Yadav PK, Yadav LK, Agrawal K, Sah SK, Islam MN. Association between obesity and heart rate variability indices: an intuition toward cardiac autonomic alteration - a risk of CVD. *Diabetes Metab Syndr Obes.* 2017;10:57-64.
25. Sztajzel J, Golay A, Makoundou V, Lehmann TN, Barthassat V, Sievert K, et al. Impact of body fat mass extent on cardiac autonomic alterations in women. *Eur J Clin Invest.* 2009;39(8):649-56.
26. Chen GY, Hsiao TJ, Lo HM, Kuo CD. Abdominal obesity is associated with autonomic nervous derangement in healthy Asian obese subjects. *Clin Nutr.* 2008;27(2):212-7.
27. Skrapari I, Tentolouris N, Perrea D, Bakoyiannis C, Papazafropoulou A, Katsilambros N. Baroreflex sensitivity in obesity: relationship with cardiac autonomic nervous system activity. *Obesity (Silver Spring).* 2007;15(7):1685-93.
28. Chen JC, Cavallari JM, Stone PH, Christiani DC. Obesity is a modifier of autonomic cardiac responses to fine metal particulates. *Environ Health Perspect.* 2007;115(7):1002-6.
29. Schwartz J, Park SK, O'Neill MS, Vokonas PS, Sparrow D, Weiss S, et al. Glutathione-S-transferase M1, obesity, statins, and autonomic effects of particles: gene-by-drug-by-environment interaction. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;172(12):1529-33.
30. Park SK, Auchincloss AH, O'Neill MS, Prineas R, Correa JC, Keeler J, et al. Particulate air pollution, metabolic syndrome, and heart rate variability: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *Environ Health Perspect.* 2010;118(10):1406-11.
31. de Hartog JJ, Lanki T, Timonen KL, Hoek G, Janssen NA, Ibaldo-Mulli A, et al. Associations between PM2.5 and heart rate variability are modified by particle composition and beta-blocker use in patients with coronary heart disease. *Environ Health Perspect.* 2009;117(1):105-11.
32. Dong W, Pan L, Li H, Miller MR, Loh M, Wu S, et al. Association of size-fractionated indoor particulate matter and black carbon with heart rate variability in healthy elderly women in Beijing. *Indoor Air.* 2018;28(3):373-82.
33. Hemmingsen JG, Rissler J, Lykkesfeldt J, Sallsten G, Kristiansen J, Møller PP, et al. Controlled exposure to particulate matter from urban street air is associated with decreased vasodilation and heart rate variability in overweight and older adults. *Part Fibre Toxicol.* 2015;12(1):6.
34. Pieters N, Plusquin M, Cox B, Kicinski M, Vangronsveld J, Nawrot TS. An epidemiological appraisal of the association between heart rate variability and particulate air pollution: a meta-analysis. *Heart.* 2012;98(15):1127-35. Review.