



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 13 • 2024 • art. 5

Níveis atmosféricos e doses inaladas de material particulado (PM₁₀) em ambientes escolares em Luanda

Apesar dos muitos estudos sobre concentrações de material particulado em ambientes escolares em países desenvolvidos, o impacto dos poluentes atmosféricos nas crianças em idade escolar em África tem recebido relativamente pouca atenção. Neste estudo, as concentrações atmosféricas de material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (PM₁₀) foram avaliadas em ambientes interiores e exteriores de quatro escolas primárias de Luanda, Angola, em setembro e outubro de 2023, usando monitores fotométricos e amostradores gravimétricos. As concentrações médias de PM₁₀ variaram entre 34,4 ± 27,5 e 118 ± 88,5 µg m⁻³ nas salas de aula e de 60,2 ± 19,1 a 125 ± 26,7 µg m⁻³ nos pátios exteriores das escolas. Em geral, os rácios interior/exterior para PM₁₀ foram inferiores a 1. As doses diárias inaladas nos períodos letivos oscilaram entre 63 e 221 µg e entre 65 e 238 µg para as crianças do sexo masculino e feminino, respetivamente. Verificou-se que as concentrações de PM₁₀ e as doses inaladas nas escolas de Luanda são mais elevadas do que as reportados para estabelecimentos de ensino de países europeus, excedendo os valores guia recomendados pela Organização Mundial da Saúde.

Palavras-chave

PM₁₀
dose inalada
crianças
escola
Luanda

Yago Cipoli^{1*}

Isabella Charres¹

Leonardo Furst¹

Joaquim Ituamba²

Anabela Leitão²

Célia Alves^{1*}

¹ Departamento de Ambiente e Ordenamento, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Portugal.

² Laboratório de Engenharia da Separação, Reação e Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola.

* yagocipoli@ua.pt | celia.alves@ua.pt

ISSN 1647-323X

Artigo em acesso aberto sob [licença CC-BY](#)

© 2024 Autores

INTRODUÇÃO

A exposição à poluição atmosférica tem sido alvo de atenção global nas últimas décadas devido aos claros efeitos deletérios na saúde humana, sobretudo em grupos mais sensíveis, como as crianças. Entre os poluentes atmosféricos, o material particulado (PM) é considerado um dos mais perigosos (Huang et al., 2021) devido à sua relação com doenças cardiorrespiratórias (Saavedra et al., 2022), incremento da pressão arterial (Yan et al., 2021), inflamação das vias aéreas e diminuição da função pulmonar (Wu et al., 2021), quer em adultos, quer na população infantil. A deposição do PM no trato respiratório humano depende das características fisiológicas de cada faixa etária. As crianças constituem um dos grupos mais suscetíveis à exposição à poluição atmosférica, visto que os seus sistemas respiratórios e imunológicos ainda se encontram em desenvolvimento e, comparativamente com os adultos, inalam maiores volumes de ar em relação à sua massa corporal. Por outro lado, são fisicamente mais ativas e, por isso, têm uma frequência respiratória mais elevada (Salvi, 2007; Morawska et al., 2017).

A exposição à poluição atmosférica é geralmente avaliada a partir das concentrações ambientais reportadas pelas redes nacionais de qualidade do ar, assumindo que as estações são representativas da exposição da população num determinado local. No entanto, além dessa abordagem não levar em consideração a grande variabilidade das concentrações de PM numa cidade (Harrison & Deacon, 1998), especialmente em pontos críticos que muitas vezes não são cobertos pelas redes de monitorização, as pessoas passam frações significativas do tempo em ambientes confinados, tornando a qualidade do ar interior mais relevante para a exposição humana (Morawska et al., 2017). Tal como muitas outras cidades africanas, Luanda não possui rede de monitorização da qualidade do ar e nunca foi alvo de estudos de avaliação dos níveis de poluentes atmosféricos em ambientes interiores. No entanto, a metrópole é caracterizada por uma elevada frota de veículos envelhecidos movidos a diesel com elevadas taxas de emissão e numerosas estradas não pavimentadas. Além disso, associada ao comércio informal, é prática comum a confeção de alimentos ao ar livre em fogões ou fogueiras alimentados a álcool ou biomassa (e.g., madeira, carvão e resíduos inflamáveis) (Coker & Kizito, 2018; Kalisa et al., 2019, 2023). Ao contrário do que sucede em países desenvolvidos (e.g., Baloch et al., 2020; Szabados et al., 2021), em África, a monitorização da qualidade do ar em ambientes escolares e suas envolventes tem recebido pouca atenção (Kalisa et al., 2023). Estudos que investigaram os efeitos da exposição de curto e longo prazo à poluição do ar em ambientes escolares sugerem que a saúde e o desenvolvimento das crianças são negativamente afetados (Fonseca et al., 2021; Paciência et al., 2021). Sunyer et al. (2015) observaram que as crianças que frequentavam estabelecimentos com níveis mais elevados de exposição a poluentes atmosféricos resultantes do tráfego rodoviário em Barcelona mostravam maiores défices de aprendizagem e menor desempenho escolar. Ayuni et al. (2014) também associaram a exposição a concentrações crescentes de PM₁₀ com o aumento do risco de sintomas respiratórios e a redução da função pulmonar em crianças que frequentam escolas primárias próximas a complexos industriais.

A falta de dados de monitorização das concentrações de PM nas escolas de Luanda limita a compreensão de fatores subjacentes à qualidade do ar e, portanto, o desenvolvimento de políticas e estratégias de controlo para reduzir a exposição das crianças. Tanto quanto sabemos, em Luanda, nenhum estudo avaliou os níveis de exposição ao PM₁₀ em ambientes escolares. Assim, este estudo piloto teve como objetivo a medição das concentrações e a estimativa das doses inaladas de PM₁₀ em quatro escolas primárias da

capital angolana, de forma a informar as autoridades sobre a situação de referência e a servir de alerta para potenciais intervenções que venham a mostrar-se necessárias.

METODOLOGIA

Seleção das escolas e locais de amostragem

A monitorização decorreu durante os meses de setembro e outubro de 2023 em 4 escolas primárias do ensino público de Luanda: escola 1138 no Largo das Escolas, escola 1603 no bairro Neves Bendinha, escola 1116 no bairro Cassenda e escola 1207 no bairro da Ingombota (Figura 1). Os locais foram seleccionados seguindo as indicações sugeridas pelo Ministério da Educação Angolano e que, simultaneamente, cumpriam com requisitos de segurança e disponibilidade de energia. Em cada estabelecimento foram instalados equipamentos de monitorização em contínuo e amostradores gravimétricos no interior de uma sala de aula e no pátio exterior durante 1 semana (Figura 2).

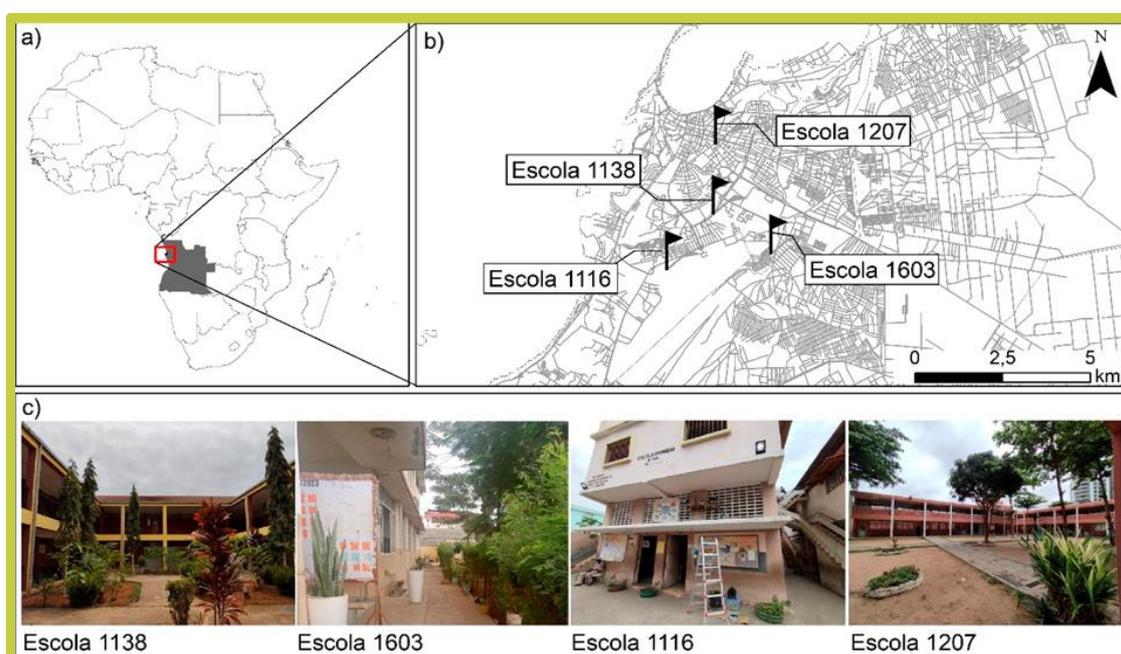


FIGURA 1: Mapa do continente africano (a), localização das escolas em Luanda (b) e imagens dos estabelecimentos monitorizados (c).

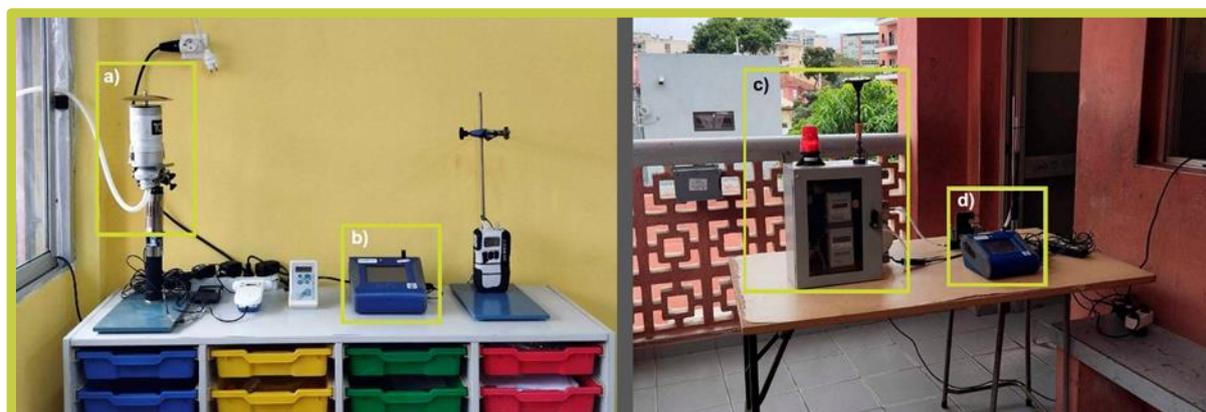


FIGURA 2: Imagem da configuração experimental composta pela cabeça de amostragem do monitor gravimétrico (a) e do monitor fotométrico (b) no interior de uma sala de aula e do amostrador gravimétrico (c) e do monitor fotométrico (d) no exterior.

As características específicas de cada estabelecimento são descritas na Tabela I.

TABELA I: Características das escolas estudadas. J – Janela, P – Porta, S – Semiaberto, A – Aberto, F – Fechado.

	Escola 1138	Escola 1603	Escola 1116	Escola 1207
Horário escolar	08:00 às 12:00 e 13:00 às 17:00			
Nº de crianças na sala de aula	32	28	61	20
Área (m ²)	54	80	44	80
Ventilação interna	JS, PF	JA, PF	JA, PA	JS, PS
Piso	Tijoleira	Tijoleira	Tijoleira/Betão	Tijoleira/Betão
Paredes	Bom estado	Tintas a descascar, rachas aparentes	Tintas a descascar	Bom estado
Janelas	4	3	3	2
Quadro	Ardósia com utilização de giz			
Portas	1	2	1	1
Rua exterior	Não pavimentada	Não pavimentada	Pavimentada	Pavimentada

Amostragem e análise de dados

No interior das salas de aula, a amostragem diária de PM₁₀ foi realizada por períodos de 24 h com um equipamento de baixo volume (2,3 m³ h⁻¹), da marca TECORA (modelo Echo PM), equipado com filtros de fibra de quartzo com 47 mm de diâmetro (Pallflex ®). Os filtros foram pesados antes e após a amostragem em balança analítica com precisão de 1 µg (Radwag 5/2Y/F) após acondicionamento numa sala a 20 °C e 50% de humidade relativa por 48 horas. Simultaneamente foram utilizados dois fotómetros de partículas (DustTrak DRX, TSI) para registar em contínuo as concentrações de PM₁₀ no interior e exterior com uma resolução temporal de 1 minuto. Cada sala de aula foi monitorizada por cinco dias consecutivos. Os fotómetros fornecem uma alta resolução temporal das concentrações de PM, mas, dependendo da composição do aerossol, as suas medições podem sofrer desvios relativamente aos níveis fornecidas por amostradores gravimétricos, os quais são considerados instrumentos de referência (Ramachandran & Cherian, 2008). Por este motivo, os dados fotométricos foram corrigidos com as concentrações obtidas pelo amostrador gravimétrico. Dada a ausência de um instrumento de referência no pátio exterior durante os períodos de amostragem, os dados obtidos pelo DustTrak no exterior foram correlacionados com os obtidos em uma campanha de intercomparação entre ambos fotómetros, realizada também em Luanda, uns dias antes das medições nas escolas. A intercomparação ocorreu em duas etapas: 1) DustTrak interior (DT_A) versus DustTrak exterior (DT_B), sendo o DT_A utilizado como referência por ter sido sujeito a calibração de fábrica nas vésperas da campanha de monitorização ($r^2 = 0,99$; $DT_A = 1,12 \times DT_B - 240$; equação 1); 2) DT_A versus amostrador gravimétrico ($r^2 = 0,96$; $TECORA = 0,57 \times DT_A + 16,3$; equação 2). Posteriormente, os dados do DT_B, transformados a partir do DT_A pela equação 1, foram corrigidos pela equação 2 que correlaciona o DT_A com o amostrador gravimétrico TECORA.

Estimativa de doses

Como medida indireta de possíveis efeitos na saúde, estimou-se a dose média de PM₁₀ inalada durante o período de ocupação de acordo com a seguinte equação adaptada da USEPA (2020):

$$dose_{ip} = PM_{10ip} * taxa\ de\ inala\c{c}\tilde{a}o * t_{ip} * P_i$$

onde PM_{10ip} (µg m³) indica a concentração média do poluente na sala *i* durante o período de ocupação *p*; a taxa de inalação (m³ kg⁻¹ h⁻¹) representa o volume de ar inalado por unidade de peso corporal e tempo (0,0175 para o sexo masculino e 0,0166 para o sexo feminino) para a faixa etária dos 5 aos 7 anos, conforme tabelado no Manual de Fatores de Exposição da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 2011); *t_{ip}* é o tempo de permanência de cada criança na sala de aula *i* durante o período *p*, indicado pelo professor da turma (horas); *P_i* corresponde à média de peso corporal das crianças, obtido através de um questionário aplicado pelos professores aos alunos de cada turma. Em cada sala, as aulas são ministradas para duas turmas distintas, uma com atividades letivas entre as 8:00 e 12:00 (manhã) e a outra entre as 13:00 e 17:00 (tarde). Assim, a dose_{ip} média inalada (µg) corresponde aos cálculos obtidos para a sala *i* durante os períodos da manhã e tarde.

Fator de infiltração

O fator de infiltração representa a fração do PM₁₀ externo que penetra no ambiente interno e permanece suspenso, contribuindo para as concentrações observadas nas salas (Alves et al., 2020). É calculado da seguinte forma:

$$C_{in} = F_{inf} * C_{ext} + C_{gin}$$

onde *C_{in}* e *C_{ext}* indicam as concentrações de PM₁₀ medidas no interior e exterior, respetivamente; *F_{inf}* é o fator de infiltração e *C_{gin}* representa as concentrações de partículas geradas no ambiente interior. Posteriormente, a percentagem mássica do PM₁₀ com origem no ambiente exterior (*ρ*) foi estimada conforme sugerido por Lv et al. (2017):

$$\rho = \frac{F_{inf} * C_{ext}}{C_{in}} * 100\%$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas várias salas de aula das escolas de Luanda, os níveis de PM₁₀ apresentaram padrões de variação semelhantes, com concentrações mais elevadas durante o período de ocupação e decréscimos após o horário escolar (Figura 3). Durante o período de aulas foram identificados nas escolas 1138 e 1603 picos de concentração no final do turno da manhã (12:00), enquanto as escolas 1116 e 1207 apresentaram níveis mais elevados cerca das 10:00. Esses picos estão relacionados com as atividades desenvolvidas pelos estudantes no interior das salas de aula, favorecendo a ressuspensão de poeiras e material depositado no chão. Além disso, foram observadas atividades de varrimento e limpeza da sala pelos próprios alunos ao fim de cada turno escolar.

Os resultados indicam que os estudantes das escolas avaliadas estão mais expostos ao PM₁₀, tanto nas salas de aula, quanto no ambiente exterior, em comparação com alunos de outras regiões do mundo, uma vez que os níveis no interior das escolas de Luanda foram, em média, 1,3 vezes superiores aos reportados em Lisboa (Faria et al., 2020), 1,8 vezes em Melbourne (Rajagopalan et al., 2022) e 9,2 vezes em várias cidades espanholas (Becerra et al., 2020). Ao contrário de estudos realizados em ambientes escolares em outros continentes, onde foram documentadas concentrações de PM₁₀ no interior superiores às encontradas no exterior, em Luanda, com exceção da escola 1603, os níveis registados nos pátios foram mais altos do que os das salas (Figura 3 e Tabela 2).

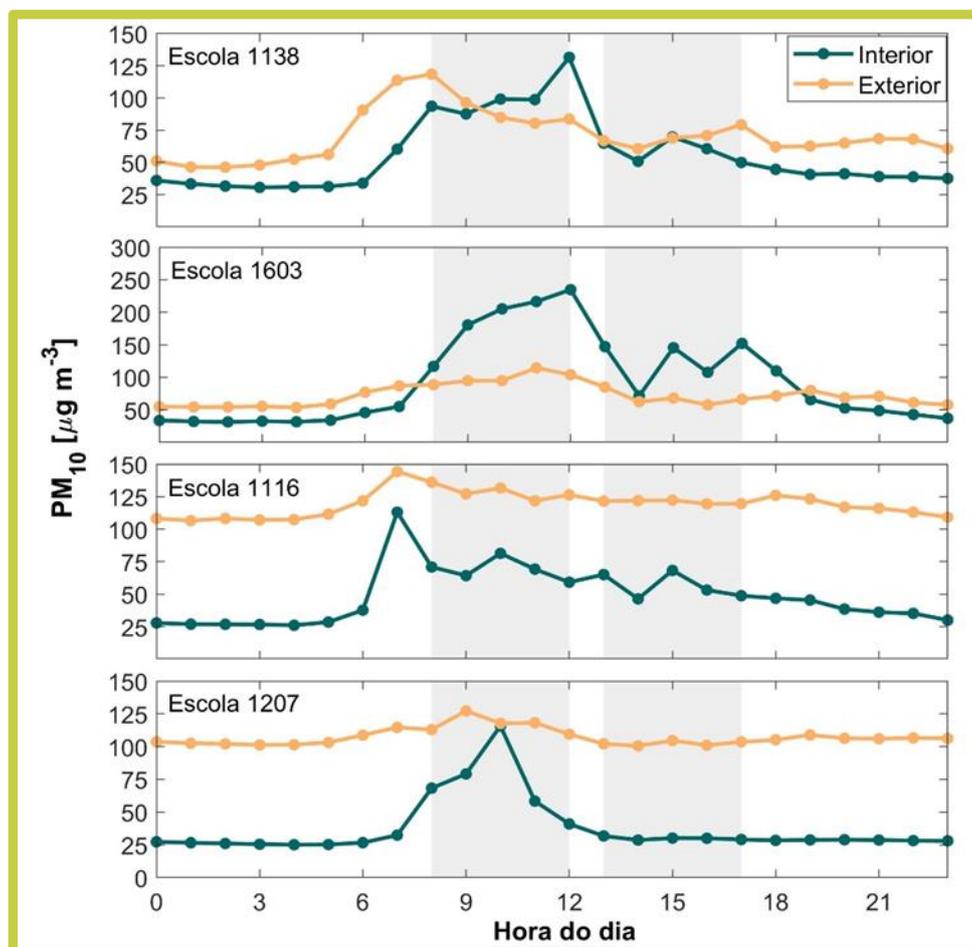


FIGURA 3: Variação das concentrações médias horárias de PM₁₀ durante os dias úteis nas quatro escolas monitorizadas. A faixa a sombreado representa o período de aulas.

Entre as fontes que contribuem significativamente para os níveis de PM₁₀ no exterior contam-se as emissões dos motores de combustão interna e a ressuspensão de poeiras rodoviárias. No entanto, os níveis mais elevados observados no ambiente interior da escola 1603 podem estar associados não só às más condições estruturais (desgaste de paredes, piso e cadeiras), mas também ao facto do recinto exterior ter piso em terra, contribuindo para o transporte de poeiras no calçado dos estudantes para as salas. O rácio entre as concentrações de PM₁₀ no interior e exterior (I/E) nas escolas 1138, 1116 e 1207 variou entre 0,36 e 0,84 com uma média de 0,54, distante do valor médio relatado no estudo de Faria et al. (2020) em 5 escolas em Lisboa (I/E = 2,14). O estudo nos estabelecimentos de ensino da capital portuguesa mostrou concentrações de PM₁₀ mais elevadas no ambiente interior do que no exterior (65,4 versus 31,7 µg m⁻³, em média), principalmente em salas de aula que utilizavam quadro de ardósia com giz. Os rácios I/E em Lisboa

concordam com os documentados por Becerra et al. (2020) para o PM₁₀ em escolas de várias cidades espanholas (PM₁₀ médio de 1,44 µg m⁻³ no exterior e 9,22 µg m⁻³ no interior). Os níveis mais baixos observados em escolas europeias, sobretudo no ar ambiente, refletem o decréscimo nos últimos anos (Harrison et al., 2021), em resultado da melhoria da qualidade dos combustíveis, imposição de limites de emissão cada vez mais restritivos, avanços significativos nos sistemas de controlo das emissões dos veículos e adoção de planos de melhoria da qualidade do ar que incluem medidas como a lavagem frequente de pavimentos rodoviários.

TABELA II: Concentração média de PM₁₀ para períodos de 24 h (µg m⁻³).

Escola	1138		1603		1116		1207	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
Dia 1	68,0	60,2	117	86,6	48,5	125	38,8	103
Dia 2	61,5	71,3	86,9	69,7	49,3	119	41,3	112
Dia 3	56,9	84,1	83,6	67,6	50,8	119	38,5	108
Dia 4	52,1	69,7	92,1	74,3	42,6	115	34,4	104
Dia 5	54,0	68,1	73,1	73,9	56,4	121	40,9	107

Em 2021, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estipulou um valor guia para as concentrações de PM₁₀ medidas durante um período de 24 horas de 45 µg m⁻³. Para os estabelecimentos escolares de Luanda as concentrações registadas no exterior ultrapassaram em até 2,7 vezes esse limite para todos os dias de amostragem. Excetuando a escola 1207, o valor recomendado pela OMS foi excedido em todas as salas de aula. Esta situação é preocupante, considerando que as crianças permanecem cerca de quatro horas expostas a níveis deletérios de PM₁₀, especialmente por serem suscetíveis e vulneráveis a doenças cardiorrespiratórias (Son, 2023).

As concentrações médias no ambiente interior variaram de 34,4 a 117 µg m⁻³, enquanto no ambiente exterior oscilaram entre 60,2 e 125 µg m⁻³. Comparativamente com as demais, as escolas 1116 e 1207 registaram as maiores amplitudes de valores entre o exterior e o interior. As concentrações mais elevadas para o exterior foram observadas nas escolas 1116 e 1207, caracterizadas por uma maior intensidade de trânsito nas imediações em relação aos outros dois estabelecimentos.

Nsompri et al. (2023) avaliaram os níveis de PM₁₀ numa escola primária localizada na capital da República do Congo reportando concentrações médias para o interior e exterior de 84,8 e 75,3 µg m⁻³, respetivamente, acima dos valores recomendados pela OMS. Os investigadores constataram ainda que a exposição ao PM₁₀ contribuía para o desenvolvimento e exacerbação de broncoespasmos durante a prática de exercício físico. Num estudo realizado em 6 escolas de Durban, África do Sul, as concentrações médias diárias de PM₁₀ (40,9 - 59,4 µg m⁻³) foram estatisticamente associadas a um aumento significativo da ocorrência de sintomas respiratórios (Mentz et al., 2018). De forma geral, as concentrações de PM₁₀ obtidas no presente estudo são comparáveis às documentadas para outros estabelecimentos de ensino em África.

As doses inaladas de PM₁₀ foram estimadas apenas para o período de ocupação das salas (Tabela 3). Chama-se a atenção para o facto de as doses globais inaladas resultarem do somatório dos níveis de PM₁₀ ponderados pelo tempo despendido pelas crianças em cada um dos vários microambientes ao longo de 24 h (ambiente exterior, transportes, habitação, etc.). O cálculo da dose global diária exigiria medições simultâneas nos vários microambientes e informação detalhada dos chamados “padrões de atividade temporal”. Sendo assim, os resultados são apenas apresentados para o ambiente escolar durante as horas de ocupação nos distintos períodos monitorizados. Os resultados mostram que as crianças que frequentam a escola 1603 inalam, em média, até 2,5, 1,7 e 1,5 vezes mais PM₁₀ do que as crianças das escolas 1207, 1138 e 1116, respetivamente. Em geral, os valores obtidos indicam que os alunos do sexo masculino das quatro escolas podem ter maior probabilidade de serem afetados pela poluição atmosférica, uma vez que inalam doses mais elevadas de PM₁₀. Além disso, exceto para a Escola 1207, frequentada apenas durante a tarde, em todos os outros estabelecimentos as doses inaladas durante a manhã foram superiores às estimadas para o período após almoço, independentemente do género avaliado. As doses de PM₁₀ inaladas no período letivo das quatro escolas aproximam-se ou são superiores às observadas noutros estudos. Faria et al. (2020) quantificaram a exposição de crianças entre os 5 e os 10 anos ao PM₁₀ e as doses diárias inaladas em Lisboa, considerando diferentes microambientes (e.g., casa, escola, transportes). Os investigadores estimaram uma dose média inalada de 177 µg de PM₁₀ durante o período escolar. Observaram ainda que, durante a semana, as crianças inalavam doses mais elevadas de PM₁₀ nas salas de aula do que em qualquer outro dos microambientes avaliados. O estudo indicou que, apesar das crianças passarem mais tempo em casa, devido às elevadas taxas de ocupação e fontes significativas de partículas, como a ressuspensão de poeiras, as concentrações de PM₁₀ são significativamente mais elevadas nas escolas. Em Luanda, as doses inaladas para o período de atividades letivas variaram, em média, entre 76 e 238 µg e entre 65 e 220 µg para os alunos do sexo masculino e feminino, respetivamente. É de referir que no estudo de Faria et al. (2020) a estimativa das doses assentou em taxas de inalação tabeladas para um peso infantil genérico, enquanto os cálculos para Luanda tiveram em conta a avaliação biométrica dos estudantes. Apesar desta diferença, as doses inaladas pelas crianças angolanas superam em cerca de 23% as doses estimadas para a população do ensino básico de Lisboa.

TABELA III: Doses inaladas de PM₁₀ por sexo nas salas de aula durante os dois períodos de ocupação nos 4 estabelecimentos estudados.

Período	Sexo	Escola 1138			Escola 1603			Escola 1116			Escola 1207		
		mín	máx	média	mín	máx	média	mín	máx	média	mín	máx	média
Manhã	Masc.	98,9	131	117	147	238	199	98,8	142	116	84,7	128	104
	Femin.	93,1	123	110	137	220	184	96,5	139	113	65,4	99,4	80,4
Tarde	Masc.	66,9	84,7	76,4	101	176	128	83,4	112	-	-	-	-
	Femin.	63,0	79,7	71,9	93,9	163	118	81,5	109	-	-	-	-

Apesar da dose diária de PM₁₀ que uma criança pode inalar depender do nível de atividade física, concentrações do poluente e tempo despendido nos diferentes microambientes frequentados ao longo do

dia, os resultados deste estudo indicam que as crianças nos estabelecimentos avaliadas inalam altas doses de PM₁₀ durante o dia escolar. As elevadas concentrações observadas apontam para a necessidade de utilização de sistemas de ventilação e purificação com filtros de ar de alta eficiência. Estudos recentes indicam que estes sistemas contribuem significativamente para o bem-estar nos ambientes escolares (Trompeter et al., 2018). No entanto, a partir das concentrações medidas, foi estimado que uma parte substancial dos níveis de partículas nas salas de aulas (10 a 35%) tem origem no exterior, pelo que a mitigação do problema só ocorrerá com a adoção de medidas estruturais, focadas nas várias fontes de poluição, interiores e exteriores, de forma a proporcionar cobenefícios para a saúde, o ambiente e o desenvolvimento.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram medidas, pela primeira vez, concentrações de material particulado atmosférico (PM₁₀) em ambientes escolares exteriores e interiores de quatro escolas em Luanda. Em geral, as concentrações médias no ar ambiente foram mais altas do que as registadas nas salas de aula. Os níveis no interior foram significativamente mais elevados durante o período escolar. Em todos os estabelecimentos de ensino, as concentrações medidas excederam o valor diário recomendado pela OMS. A degradação estrutural do parque escolar, excessiva densidade de ocupação, ruas e pátios não pavimentados, tráfego rodoviário congestionado, confeção de alimentos nas ruas e à porta das escolas, entre outras fontes de emissão, podem contribuir para os elevados níveis observados. As doses diárias inaladas para o período de atividades letivas foram, em média, 125 µg e 119 µg para os alunos do sexo masculino e feminino, respetivamente. As doses estimadas foram superiores às reportadas noutros estudos em Portugal. Apesar de terem sido avaliadas apenas quatro escolas por um curto período, os resultados alertam as autoridades angolanas para a necessidade de adoção de legislação específica de qualidade do ar, monitorização regular e adoção de medidas que visem a proteção da saúde de uma faixa etária particularmente vulnerável. É também fundamental promover a educação ambiental para capacitar as crianças a se tornarem agentes de mudança.

agradecimentos • Este estudo inseriu-se no projeto “Poluição do ar numa megacidade africana: fontes e implicações na saúde” (DOI: 10.54499/2022.04240.PTDC), financiado por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES. Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelas bolsas de doutoramento SFRH/BD/04992/2021 a Y. Cipoli, SFRH/BD/2022.12142 a I. Charres e SFRH/BD/08461/2020 a L. Furst. Agradece-se ainda aos diretores, professores, alunos e pessoal administrativo das quatro escolas onde decorreram as amostragens. Finalmente, uma palavra de agradecimento a todas as autoridades de Luanda que viabilizaram a execução do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, C. A., Vicente, E. D., Evtugina, M., Vicente, A. M., Nunes, T., Lucarelli, F., ... Fraile, R. (2020). Indoor and outdoor air quality: A university cafeteria as a case study. *Atmospheric Pollution Research*, 11(3), 531–544. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2019.12.002>
- Ayuni, N. A., Juliana, J., & Ibrahim, M. H. (2014). Exposure to PM₁₀ and NO₂ and association with respiratory health among primary school children living near petrochemical industry area at Kertih, Terengganu. *Journal of Medical and Bioengineering*. <https://doi.org/10.12720/jomb.3.4.282-287>
- Baloch, R. M., Maesano, C. N., Christoffersen, J., Banerjee, S., Gabriel, M., Csobod, É., ... Dewolf, M. C. (2020). Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study. *Science of the Total Environment*, 739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139870>
- Becerra, J. A., Lizana, J., Gil, M., Barrios-Padura, A., Blondeau, P., & Chacartegui, R. (2020). Identification of potential indoor air pollutants in schools. *Journal of Cleaner Production*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118420>
- Coker, E., & Kizito, S. (2018). A narrative review on the human health effects of ambient air pollution in sub-saharan Africa: An urgent need for health effects studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, Vol. 15, Page 427, 15(3), 427. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15030427>
- Faria, T., Martins, V., Correia, C., Canha, N., Diapouli, E., Manousakas, M., ... Almeida, S. M. (2020). Children's exposure and dose assessment to particulate matter in Lisbon. *Building and Environment*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106666>
- Fonseca, G. M., Paciência, I., Felgueiras, F., Cavaleiro Rufo, J., Castro Mendes, F., Farraia, M., ... de Oliveira Fernandes, E. (2021). Environmental quality in primary schools and related health effects in children. An overview of assessments conducted in the Northern Portugal. *Energy and Buildings*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111305>
- Harrison, R. M., & Deacon, A. R. (1998). Spatial correlation of automatic air quality monitoring at urban background sites: Implications for network design. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 19(2). <https://doi.org/10.1080/09593331908616664>
- Harrison, R. M., Allan, J., Carruthers, D., Heal, M. R., Lewis, A. C., Marnier, B., ... Williams, A. (2021). Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review. *Atmospheric Environment*, 262, 118592. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2021.118592>
- Huang, F., Zhao, Y., Wang, P., Wang, Y., Zhang, L., & Luo, Y. (2021). Short-term exposure to particulate matter on heart rate variability in humans: a systematic review of crossover and controlled studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 35528–35536. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-14494-1/FIGURES/2>
- Kalisa, E., Archer, S., Nagato, E., Bizuru, E., Lee, K., Tang, N., ... Lacap-Bugler, D. (2019). Chemical and biological components of urban aerosols in Africa: Current status and knowledge gaps. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 941, 16(6), 941. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16060941>
- Kalisa, E., Kuire, V., & Adams, M. (2023). Children's exposure to indoor and outdoor black carbon and particulate matter air pollution at school in Rwanda, Central-East Africa. *Environmental Advances*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100334>
- Lv, Y., Wang, H., Wei, S., Zhang, L., & Zhao, Q. (2017). The correlation between indoor and outdoor particulate matter of different building types in Daqing, China. *Procedia Engineering*, 205, 360–367. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.10.002>
- Mentz, G., Robins, T. G., Batterman, S., & Naidoo, R. N. (2018). Acute respiratory symptoms associated with short term fluctuations in ambient pollutants among schoolchildren in Durban, South Africa. *Environmental Pollution*, 233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.108>
- Morawska, L., Ayoko, G. A., Bae, G. N., Buonanno, G., Chao, C. Y. H., Clifford, S., ... Wierzbicka, A. (2017). Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.07.025>
- Nsombi, F., Kounga, P. R. M., Moussouami, S. I., Boussana, A., Bouhika, E. J., & Messan, F. (2023). Levels of fine particle concentrations in schools and postexercise pulmonary function disorders in schoolchildren in Brazzaville. *Journal of Biosciences and Medicines*, 11(04). <https://doi.org/10.4236/jbm.2023.114002>
- Paciência, I., Cavaleiro Rufo, J., Mendes, F., Farraia, M., Cunha, P., Silva, D., ... Moreira, A. (2021). A cross-sectional study of the impact of school neighbourhood on children obesity and body composition. *European Journal of Pediatrics*, 180(2). <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03798-y>
- Rajagopalan, P., Andamon, M. M., & Woo, J. (2022). Year long monitoring of indoor air quality and ventilation in school classrooms in Victoria, Australia. *Architectural Science Review*, 65(1). <https://doi.org/10.1080/00038628.2021.1988892>
- Ramachandran, S., & Cherian, R. (2008). Regional and seasonal variations in aerosol optical characteristics and their frequency distributions over India during 2001–2005. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D8), 8207. <https://doi.org/10.1029/2007JD008560>

- Saavedra, B. J., Sepúlveda, A. F., Sierra, R. J., & Blanco-Becerra, L. C. (2022). Association between particulate matter and respiratory symptoms in students in the municipality of Guachetá, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, (104). <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210954>
- Salvi, S. (2007). Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatric Respiratory Reviews*, 8(4), 275–280. <https://doi.org/10.1016/J.PRRV.2007.08.008>
- Son, Y. S. (2023). A review on indoor and outdoor factors affecting the level of particulate matter in classrooms of elementary schools. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106957>
- Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forns, J., Rivas, I., López-Vicente, M., ... Querol, X. (2015). Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: A prospective cohort study. *PLoS Medicine*, 12(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>
- Szabados, M., Csákó, Z., Kotlík, B., Kazmarová, H., Kozajda, A., Jutraz, A., ... Szigeti, T. (2021). Indoor air quality and the associated health risk in primary school buildings in Central Europe – The InAirQ study. *Indoor Air*, 31(4). <https://doi.org/10.1111/ina.12802>
- Trompetter, W. J., Boulic, M., Ancelet, T., Garcia-Ramirez, J. C., Davy, P. K., Wang, Y., & Phipps, R. (2018). The effect of ventilation on air particulate matter in school classrooms. *Journal of Building Engineering*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.009>
- USEPA. U. S. Environmental Protection Agency (2011). *Exposure Factors Handbook: Chapter 6—Inhalation Rates*.
- USEPA. U.S. Environmental Protection Agency (2020). *Exposure Assessment Tools by Routes – Inhalation*. <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation>
- Wu, Y., Li, H., Xu, D., Li, H., Chen, Z., Cheng, Y., ... Chen, R. (2021). Associations of fine particulate matter and its constituents with airway inflammation, lung function, and buccal mucosa microbiota in children. *Science of the Total Environment*, 773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145619>
- Yan, M., Xu, J., Li, C., Guo, P., Yang, X., & Tang, N. jun. (2021). Associations between ambient air pollutants and blood pressure among children and adolescents: A systemic review and meta-analysis. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147279>