

# Excesso de Pressão Arterial Sistólica Associada com Poluição Aérea por Material Particulado Fino Acima da Diretriz da OMS no Brasil

*Excess Systolic Blood Pressure Associated with Fine Particulate Matter Air Pollution above the WHO Guidelines in Brazil*

Pedro Rafael Vieira de Oliveira Salerno,<sup>1</sup> Issam Motairek,<sup>1</sup> Luis Augusto Palma Dallan,<sup>1</sup> Brendan Bourges-Sevenier,<sup>1</sup> Sanjay Rajagopalan,<sup>1,2</sup> Sadeer G. Al-Kindi<sup>1,2</sup>

Harrington Heart and Vascular Institute, University Hospitals Cleveland Medical Center,<sup>1</sup> Cleveland, Ohio – EUA  
Case Western Reserve University School of Medicine,<sup>2</sup> Cleveland, Ohio – EUA

## Introdução

A doença cardiovascular continua sendo a principal causa mundial de mortalidade, e a hipertensão tem sido implicada como tendo a maior associação de causação entre todos os fatores de risco de doenças cardiovasculares.<sup>1</sup> Assim, não é de surpreender que a hipertensão seja o principal fator de risco de morte e a segunda maior causa de anos de vida ajustados por incapacidade no Brasil, fortemente impactando sua população e o sistema nacional de saúde.<sup>2</sup> A hipertensão também está diretamente ligada à poluição do ar, especialmente ao material particulado fino < 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>), que tem sido identificado como um fator de risco independente para aumento da pressão arterial sistólica (PAS).<sup>3</sup> No Brasil, como na maioria dos países, a principal fonte de exposição à poluição do ar em áreas urbanas resulta principalmente da queima de combustíveis fósseis pelo trânsito de veículos e pela geração de energia industrial, enquanto, em áreas rurais do Brasil, a poluição do ar resulta principalmente da queima de biomassa.<sup>4</sup>

No Brasil, foram realizados estudos anteriores investigando os efeitos da exposição ao PM<sub>2,5</sub> na pressão arterial em trabalhadores ao ar livre que são mais suscetíveis à poluição do ar ambiente por emissões veiculares, como controladores de tráfego, demonstrando a ligação entre a concentração de PM<sub>2,5</sub> e o aumento da PAS.<sup>5,6</sup> No entanto, esses estudos tendem a concentrar-se nas regiões metropolitanas e urbanas.<sup>5,6</sup> Assim, devido ao grande tamanho geográfico e à diversidade regional do Brasil, existe uma lacuna substancial no conhecimento em relação às áreas menos povoadas. No presente estudo, visamos estimar o excesso de PAS atribuível às concentrações de PM<sub>2,5</sub> acima do limite da diretriz da Organização Mundial da Saúde (OMS) no Brasil, bem como em todos os seus estados e regiões.

## Palavras-chave

Poluição do Ar; Pressão Arterial; Meio Ambiente; Saúde Pública

### Correspondência: Sadeer Al-Kindi •

University Hospitals Harrington Heart and Vascular Institute Case Western Reserve University School of Medicine – 11100 Euclid Ave, Cleveland, OH 44106 – EUA

E-mail: Sadeer.Al-Kindi@uhhospitals.org

Artigo recebido em 21/05/2023, revisado em 01/08/2023, aceito em 04/10/2023

Editor responsável pela revisão: Paulo B. Veiga Jardim

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20230347>

## Métodos

Obtivemos as concentrações de PM<sub>2,5</sub> ponderadas pela população de 2019 para os 26 estados brasileiros e o Distrito Federal a partir do estudo *Global Burden of Disease* (GBD), um esforço de colaboração internacional para quantificar os níveis e tendências na saúde e fornecer dados publicamente disponíveis.<sup>7</sup> Modelos de sistemas de monitoramento ao nível do solo e de satélite, bem como modelos de transporte químico, foram utilizados pelo GBD para estimar as concentrações de PM<sub>2,5</sub> em µg/m<sup>3</sup>.<sup>8</sup> Os estados também foram estratificados de acordo com as regiões (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) determinados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)<sup>9</sup> e de acordo com quartis do Índice Sociodemográfico (SDI).<sup>7</sup> O SDI, uma ferramenta desenvolvida pelo GBD, é um indicador composto de condições socioeconômicas que afetam os desfechos de saúde que varia de 0 a 1.<sup>7</sup> Uma faixa de exposição ao PM<sub>2,5</sub> e da resposta da PAS foi obtida a partir de uma metanálise de estudos observacionais (aumento de 0,06 mmHg na PAS por aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> na concentração de PM<sub>2,5</sub>) e de uma revisão de ensaios de filtração de ar (0,19 mmHg por aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> na concentração de PM<sub>2,5</sub>),<sup>10,11</sup> resultando assim em uma faixa de resposta à exposição de 0,06 a 0,19 mmHg por aumento de 1 µg/m<sup>3</sup> na concentração de PM<sub>2,5</sub>. A metanálise incluiu 28 estudos observacionais (10 estudos de coorte e 18 estudos transversais) que examinaram a exposição de longo prazo (> 1 ano) ao PM<sub>2,5</sub> e hipertensão em populações saudáveis.<sup>10</sup> A revisão sistemática incluiu um total de 10 ensaios clínicos randomizados em humanos que avaliaram filtros de ar pessoais (incluindo filtros de ar particulado de alta eficiência e precipitadores eletrostáticos) em um ambiente doméstico ou residencial, observando os efeitos da filtração versus nenhuma filtração na pressão arterial.<sup>11</sup> O excesso de PAS foi considerado como o aumento da PAS devido ao nível de concentração de PM<sub>2,5</sub> acima de 5 µg/m<sup>3</sup>, com base nas atuais Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS.<sup>8</sup> A aprovação do conselho de revisão institucional não foi necessária devido à natureza dos dados publicamente disponíveis. As análises estatísticas e os mapas foram produzidos utilizando o software de acesso aberto R v 4.1.2.

### Excesso de PAS, estimativas observacionais

$$= \left[ \frac{(\text{Concentração média de PM}_{2,5} \text{ no país} - 5 \mu\text{g}/\text{m}^3) \times 0,06 \text{ mmHg}}{\text{g}/\text{m}^3} \right]$$

**Excesso de PAS, estimativas de intervenção**

$$= \left[ \frac{(\text{Concentração média de PM}_{2,5} \text{ no país} - 5 \mu\text{g}/\text{m}^3) \times 0,19 \text{ mmHg}}{\text{g}/\text{m}^3} \right]$$

**Resultados**

A concentração média de PM<sub>2,5</sub> ponderada pela população do Brasil foi de 10,68 µg/m<sup>3</sup>, o que resultou em uma faixa de excesso de PAS de 0,40 a 1,26 mmHg com base em estimativas observacionais e de intervenção, respectivamente. A Tabela 1 descreve a concentração média de PM<sub>2,5</sub> específica por estado e o excesso de PAS em 2019. A Figura 1 mapeia a variabilidade interestadual da concentração média de PM<sub>2,5</sub> e a Figura 2 ilustra o excesso de PAS de acordo com a região

e os quartis do SDI. Rio de Janeiro (0,53 a 1,69 mmHg) e São Paulo (0,53 a 1,68 mmHg) tiveram os maiores níveis de excesso de PAS, enquanto Rondônia (0,20 a 0,62 mmHg) e Amazonas (0,21 a 0,66 mmHg) tiveram os menores. Comparando os estados com carga mais baixa (Rondônia) e com carga mais alta (Rio de Janeiro), foi observada uma diferença percentual relativa de aproximadamente 90% a 92% (faixa da estimativa observacional para a de intervenção) para o excesso de PAS. As diferenças regionais e os quartis do SDI no excesso de PAS são exibidas na Figura 2. O Sudeste (0,47 a 1,49 mmHg) foi a região que teve a maior carga de excesso de PAS, enquanto o Norte (0,28 a 0,88 mmHg) foi a região menos afetada. Em relação aos quartis do SDI, o terceiro (0,36 a 1,15 mmHg) e o quarto (0,39 a 1,25 mmHg) apresentaram a maior carga, e o segundo quartil (0,28 a 0,88 mmHg) a menor.

**Tabela 1 – Concentração média de PM<sub>2,5</sub> e Índice Sociodemográfico (SDI) para os estados brasileiros em 2019 e excesso de pressão arterial sistólica (PAS) com base em estimativas observacionais e de intervenção atribuídas à exposição ao PM<sub>2,5</sub>**

Região	Estado	SDI	Quartil do SDI	PM <sub>2,5</sub> média (µg/m <sup>3</sup> )	Excesso de PAS (mmHg) Estimativas observacionais	Excesso de PAS (mmHg) Estimativas de intervenção
Norte	Acre	0,56	1	9,01	0,24	0,76
Nordeste	Alagoas	0,52	1	10,20	0,31	0,99
Norte	Amapá	0,64	3	10,97	0,36	1,13
Norte	Amazonas	0,6	2	8,47	0,21	0,66
Nordeste	Bahia	0,56	1	9,92	0,30	0,94
Nordeste	Ceará	0,56	1	11,11	0,37	1,16
Centro-Oeste	Distrito Federal	0,78	4	11,34	0,38	1,20
Sudeste	Espírito Santo	0,66	4	10,77	0,35	1,10
Centro-Oeste	Goiás	0,63	3	11,29	0,38	1,20
Nordeste	Maranhão	0,44	1	10,61	0,34	1,07
Centro-Oeste	Mato Grosso	0,64	3	9,52	0,27	0,86
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	0,64	3	10,36	0,32	1,02
Sudeste	Minas Gerais	0,64	3	12,89	0,47	1,50
Norte	Pará	0,57	2	10,08	0,30	0,96
Nordeste	Paraíba	0,55	1	10,74	0,34	1,09
Sul	Paraná	0,66	4	9,79	0,29	0,91
Nordeste	Pernambuco	0,57	2	10,50	0,33	1,05
Nordeste	Piauí	0,51	1	11,11	0,37	1,16
Sudeste	Rio de Janeiro	0,7	4	13,91	0,53	1,69
Nordeste	Rio Grande do Norte	0,58	2	11,15	0,37	1,17
Sul	Rio Grande do Sul	0,68	4	10,50	0,33	1,04
Norte	Rondônia	0,61	2	8,26	0,20	0,62
Norte	Roraima	0,61	3	10,74	0,34	1,09
Sul	Santa Catarina	0,69	4	10,93	0,36	1,13
Sudeste	São Paulo	0,7	4	13,87	0,53	1,68
Nordeste	Sergipe	0,58	2	9,28	0,26	0,81
Norte	Tocantins	0,58	2	10,01	0,30	0,95
<b>Brasil</b>		<b>0,64</b>	<b>3</b>	<b>11,65</b>	<b>0,40</b>	<b>1,26</b>

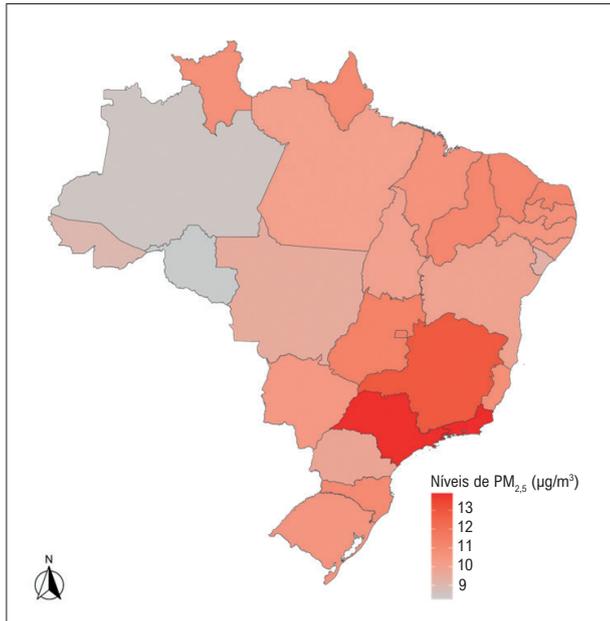


Figura 1 – Variação da exposição ao material particulado fino < 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>) em nível estadual no Brasil. Medido em µg/m<sup>3</sup>.

## Discussão

No contexto da crise de hipertensão no Brasil, com 1 a cada 4 brasileiros relatando hipertensão, nossos resultados destacam a contribuição menos reconhecida da exposição ao PM<sub>2,5</sub> para o aumento da PAS.<sup>2</sup> Embora a elevação da PAS no Brasil seja inferior à média global (0,40 versus 2,4 mmHg, estimativas observacionais), foram observadas disparidades interestaduais, regionais e sociodemográficas substanciais em relação à magnitude do excesso de PAS, particularmente na

Região Sudeste, onde os níveis de PM<sub>2,5</sub> também são os mais altos.<sup>8</sup> Além disso, o achado de que todos os estados brasileiros possuem concentrações de PM<sub>2,5</sub> acima do limite atual da OMS enfatiza a necessidade de programas nacionais de poluição do ar mais fortes e coesos, especialmente nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, que contêm as maiores áreas urbanas do Brasil.<sup>12</sup> Dado o impacto dos combustíveis fósseis na poluição do ar em áreas urbanas, essas iniciativas devem se concentrar na priorização do uso de fontes de energia não fósseis, bem como na melhoria da infraestrutura para apoiar sistemas maiores de transporte público e promover o uso de veículos de energia limpa.<sup>13</sup> Além disso, devido às altas concentrações de PM<sub>2,5</sub> no estado de São Paulo, o maior produtor de açúcar do Brasil, deve-se também considerar o impacto da queima de cana-de-açúcar antes da colheita e da imposição de maiores restrições industriais, especialmente porque a poluição do ar durante a temporada das queimadas tem sido associada ao aumento de internações hospitalares.<sup>4,14</sup>

Embora, no presente estudo, a Região Norte tenha a menor concentração de PM<sub>2,5</sub>, outros estudos que utilizaram diferentes métodos de estimativa de PM<sub>2,5</sub> descreveram uma maior carga de poluição do ar na região.<sup>15</sup> De fato, a Região Norte desempenha um papel crucial na poluição do ar no Brasil.<sup>16</sup> A queima de biomassa que ocorre na Amazônia, por exemplo, emite grandes quantidades de PM<sub>2,5</sub>, que não somente impactam áreas próximas aos incêndios, mas também causam doenças e mortes prematuras em áreas distantes deles.<sup>16</sup> Além disso, a região também é descrita como um *hotspot* socioclimático, combinando altos níveis de vulnerabilidade social e ambiental, aumentando a necessidade de intervenções socioambientais e de saúde direcionadas na região.<sup>16</sup>

Por último, embora o valor numérico do aumento da PAS possa parecer dispensável, deve ser visto à luz do seu impacto em um grande número de indivíduos e considerado como um componente de um continuum de exposições que têm um efeito aditivo na pressão arterial. Além disso,

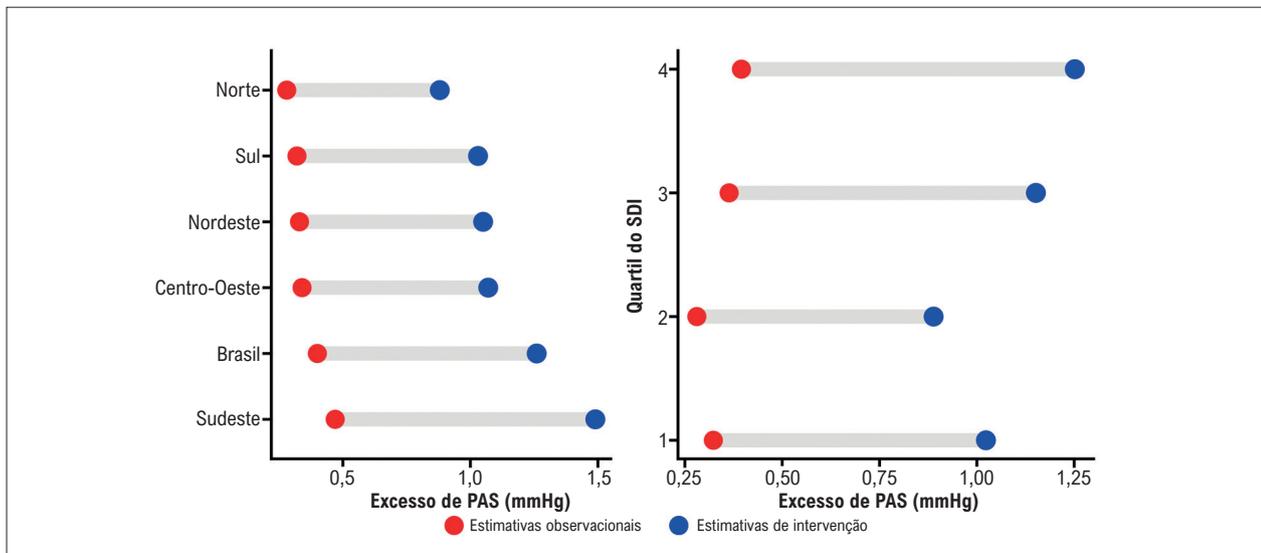


Figura 2 – Excesso de pressão arterial sistólica (PAS) com base em estimativas observacionais e de intervenção atribuídas à exposição ao PM<sub>2,5</sub> no Brasil de acordo com região e quartil do Índice Sociodemográfico (SDI).

têm sido propostas múltiplas vias biológicas que medeiam o impacto do PM<sub>2,5</sub> na pressão arterial, incluindo inflamação sistêmica, respostas oxidativas e disfunção endotelial.<sup>17</sup> Estudos recentes da China também implicam a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal em resposta à exposição a altos níveis de PM<sub>2,5</sub>, culminando em aumentos significativos nos hormônios séricos do estresse (cortisol, cortisona, epinefrina e norepinefrina).<sup>17,18</sup>

As limitações do presente estudo incluem aquelas inerentes ao seu caráter ecológico, sua dependência de dados secundários e análise em nível estadual, que pode subestimar o efeito nas populações de áreas metropolitanas industrializadas.

## Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa e Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Salerno PRVO, Motarek I, Dallan LAP, Bourges-Sevenier B, Rajagopalan S, Al-Kindi SG; Obtenção de dados: Salerno PRVO, Motarek I; Análise e interpretação dos dados: Salerno

PRVO; Análise estatística: Salerno PRVO, Al-Kindi SG; Redação do manuscrito: Salerno PRVO, Bourges-Sevenier B.

## Potencial conflito de interesse

Não há conflito com o presente artigo

## Fontes de financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

## Vinculação acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

## Aprovação ética e consentimento informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

## Referências

1. Fuchs FD, Whelton PK. High Blood Pressure and Cardiovascular Disease. *Hypertension*. 2020;75(2):285-92. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.14240.
2. Malta DC, Bernal RTI, Prates EJS, Vasconcelos NM, Gomes CS, Stopa SR, et al. Self-Reported Arterial Hypertension, Use of Health Services and Guidelines for Care in Brazilian Population: National Health Survey, 2019. *Epidemiol Serv Saude*. 2022;31(0):e2021369. doi: 10.1590/SS2237-9622202200012.especial
3. Rajagopalan S, Al-Kindi SG, Brook RD. Air Pollution and Cardiovascular Disease: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(17):2054-70. doi: 10.1016/j.jacc.2018.07.099.
4. Santos UP, Arbex MA, Braga ALF, Mizutani RF, Cançado JED, Terra-Filho M, et al. Environmental Air Pollution: Respiratory Effects. *J Bras Pneumol*. 2021;47(1):e20200267. doi: 10.36416/1806-3756/e20200267.
5. Chiarelli PS, Pereira LAA, Saldiva PHN, Ferreira Filho C, Garcia MLB, Braga ALF, et al. The Association Between Air Pollution and Blood Pressure in Traffic Controllers in Santo André, São Paulo, Brazil. *Environ Res*. 2011;111(5):650-5. doi: 10.1016/j.envres.2011.04.007.
6. Santos UP, Braga ALF, Garcia MLB, Pereira LAA, Lin CA, Chiarelli PS, et al. Exposure to Fine Particles Increases Blood Pressure of Hypertensive Outdoor Workers: a Panel Study. *Environ Res*. 2019;174:88-94. doi: 10.1016/j.envres.2019.04.021.
7. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global Burden of 87 Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2019: a Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1223-49. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
8. Brook RD, Motarek I, Rajagopalan S, Al-Kindi S. Excess Global Blood Pressure Associated with Fine Particulate Matter Air Pollution Levels Exceeding World Health Organization Guidelines. *J Am Heart Assoc*. 2023;12(8):e029206. doi: 10.1161/JAHA.122.029206.
9. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisões Regionais do Brasil. IBGE [Internet]. 2023 [cited 2023 Nov 6]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html>.
10. Niu Z, Duan Z, Yu H, Xue L, Liu F, Yu D, et al. Association Between Long-Term Exposure to Ambient Particulate Matter and Blood Pressure, Hypertension: an Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Health Res*. 2023;33(3):268-83. doi: 10.1080/09603123.2021.2022106.
11. Walzer D, Gordon T, Thorpe L, Thurston G, Xia Y, Zhong H, et al. Effects of Home Particulate Air Filtration on Blood Pressure: a Systematic Review. *Hypertension*. 2020;76(1):44-50. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.14456.
12. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022 Census [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2022 [cited 2023 Nov 6]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/en/statistics/social/population/22836-2020-census-censo4.html>
13. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, Adeyi O, Arnold R, Basu NN, et al. The Lancet Commission on Pollution and Health. *Lancet*. 2018;391(10119):462-512. doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
14. Arbex MA, Martins LC, Oliveira RC, Pereira LA, Arbex FF, Cançado JE, et al. Air Pollution from Biomass Burning and Asthma Hospital Admissions in a Sugar Cane Plantation Area in Brazil. *J Epidemiol Community Health*. 2007;61(5):395-400. doi: 10.1136/jech.2005.044743.
15. Yu P, Xu R, Li S, Coelho MSZS, Saldiva PHN, Sim MR, et al. Loss of Life Expectancy from PM<sub>2.5</sub> in Brazil: A National Study from 2010 to 2018. *Environ Int*. 2022;166:107350. doi: 10.1016/j.envint.2022.107350.
16. Moura FR, Silva FMR Jr. 2030 Agenda: Discussion on Brazilian Priorities Facing air Pollution and Climate Change Challenges. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2023;30(3):8376-90. doi: 10.1007/s11356-022-24601-5.
17. Lin H, Guo Y, Zheng Y, Di Q, Liu T, Xiao J, et al. Long-Term Effects of Ambient PM<sub>2.5</sub> on Hypertension and Blood Pressure and Attributable Risk Among Older Chinese Adults. *Hypertension*. 2017;69(5):806-12. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.08839.
18. Fan F, Wang S, Zhang Y, Xu D, Jia J, Li J, et al. Acute Effects of High-Level PM<sub>2.5</sub> Exposure on Central Blood Pressure. *Hypertension*. 2019;74(6):1349-56. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.13408.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons