



# *Os Impactos na Performance dos Alunos em Salas de Aula*

**Profa. Adriana Gioda**  
**Departamento de Química - PUC-Rio**  
**[agioda@puc-rio.br](mailto:agioda@puc-rio.br)**



# QUALIDADE DO AR DE INTERIORES (QAI)

**“Refere-se a qualidade do ar dentro e ao redor de edifícios e estruturas, especialmente no que se refere à saúde e ao conforto de seus ocupantes.”**



# QUAL É A IMPORTÂNCIA DO QAI NAS ESCOLAS?

- Crianças em fase de crescimento possuem capacidade fisiológica muito sensíveis a produtos químicos.
- A exposição a má qualidade do ar pode interferir na capacidade de aprendizagem.
- Asma, dores de cabeça, náuseas, sonolência e tontura podem ocorrer com frequência.
- Baixo nível de conforto leva à insatisfação.

Fontes: Cohen et al., 2009; Wang and Degol, 2016;



# FATORES QUE INFLUENCIAM A QAI

- Qualidade do ar exterior
- Extensão da troca de ar
- A ligação entre os ambientes internos
- Fontes de poluição interna (pessoas, animais, móveis, materiais de construção e cobertura, etc.)



# FONTES EXTERNAS DE POLUIÇÃO DO AR

- Tráfego
- Usinas de energia
- Plantas industriais
- Construções
- Depósito de lixo
- Atividade agrícola



# FATORES ARQUITETÔNICOS QUE INFLUENCIAM NA QAI

- Orientação
- Nível do andar
- Salas de aula voltadas para a rua ou para o pátio
- Vegetação
- Estacionamento
- Área para fumantes perto das janelas das salas de aula



# FONTES INTERNAS DE POLUIÇÃO DO AR NAS SALAS DE AULAS

- Poeira/pó (ex. giz, varrer, deslocamento etc)
- Materiais de construção e isolantes
- Materiais de superfície (revestimento de parede, carpetes, persianas, cortinas)
- Mobiliário
- Evaporação de produtos químicos voláteis de novos materiais
- Fotocopiadoras, tintas
- Produtos de limpeza/desinfecção
- Produtos de cuidado pessoal
- Mofo (de umidade)



# EDIFÍCIO COM PROBLEMAS CONHECIDOS SÍNDROME DO EDIFÍCIO DOENTE (SED)

## Síndrome do Edifício Doente

- “É um conjunto de doenças/sintomas causados ou estimulados pela poluição do ar em espaços fechados”.
- Um edifício é considerado doente quando 20 % dos seus ocupantes, desenvolvem algum tipo de problema de saúde relacionado à permanência no local.



## Doenças Relacionadas a Edifícios

- Um número relativamente pequeno de pessoas internadas apresenta problemas de saúde acompanhados de sinais físicos que são identificados por um médico e/ou por exames laboratoriais e podem ser atribuídos a agentes ambientais no ar.





# QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA



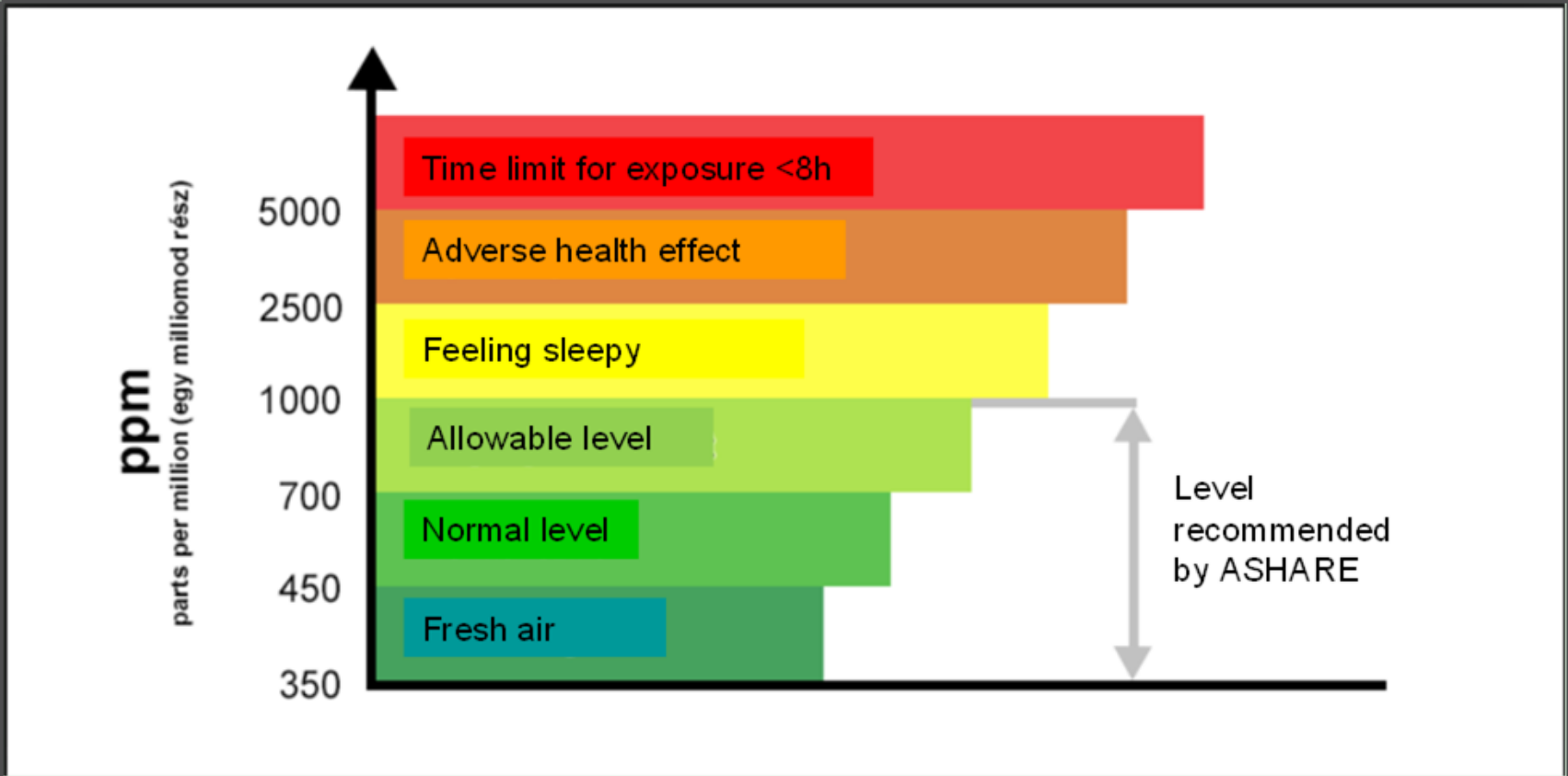
# PADRÕES DE QUALIDADE DO AR DE INTERIORES

Poluente	Brasil	WHO
CO <sub>2</sub>	1000 ppm	1000 ppm
Partículas	TSP - 80 µg/m <sup>3</sup>	PM2.5 - 15 µg/m <sup>3</sup> (24 h - mean) PM10 - 40 µg/m <sup>3</sup> (24 h - mean)
Bioaerosol	750 CFU/m <sup>3</sup>	500 CFU/m <sup>3</sup>

Parâmetro	Brasil	ASHRAE
Temperatura	Summer: 23 a 26 °C Winter: 20 a 22 °C	22.5 – 26.0 °C (summer) 20.0-23.5 °C (winter)
Umidade relativa	Summer: 45 - 65% Winter: 35 - 65%	40-60% (summer) 30-60% (winter)
Taxa de Renovação do Ar	27 m <sup>3</sup> /hora/pessoa	25-34 m <sup>3</sup> /hora/pessoa



# RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CO2 E OS RISCOS À SAÚDE



ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers



# EFEITOS GERAIS DA MÁ QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS DE AULA SUBVENTILADAS/SUPERLOTADAS

- Aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> – diminuição da concentração, da atenção, do desempenho em testes, fadiga, dor de cabeça, aumento do risco de acidentes;
- Aumento dos níveis de bactérias, vírus - doenças infecciosas, absenteísmo
- Aumento da umidade, temperatura, odor - desconforto, dor de cabeça
- Concentração moderadamente aumentada de produtos químicos liberados em ambientes internos:
  - sintomas de curta duração (desencadeamento dos sintomas asmáticos, dores de cabeça, fadiga, tonturas, náuseas)
  - impacto negativo a longo prazo no sistema nervoso central, sistema respiratório, sistema cardiovascular, sistema hormonal e contribuição para o desenvolvimento posterior de cânceres)



# EFEITOS DO AUMENTO DAS TAXAS DE VENTILAÇÃO EM SALAS DE AULA SOBRE O DESEMPENHO DE TAREFAS DOS ALUNOS

Aumento da taxa de ventilação (L/s por pessoa)	Efeito no desempenho	Referência
1.5 → 13.0	Velocidade aumentada em 5 % em testes de desempenho cognitivo	Coley and Greeves, 2004
3.0 → 8.5 5.2 → 9.6	A velocidade do teste melhorou significativamente em 50 % dos testes	Wargocki and Wyon, 2007
0.5 → 13.0-16.0	Aumentou a velocidade dos alunos em aproximadamente 7% em matemática	Bakó-Bíró et al., 2012
3.0 → 9.5	Velocidade aprimorada em 8% em testes de base numérica e de idioma	Wargocki and Wyon, 2013
0.9 → 7.1	Os testes padronizados aumentaram 2,9 % para matemática e 2,7 % para leitura	Haverinen-Shaughnessy et al., 2010



# EFEITOS DA TEMPERATURA EM SALAS DE AULA

- O aumento da temperatura do ar exterior e, conseqüentemente, do interior dos edifícios escolares diminui a atenção das crianças.
- As queixas de dor de cabeça, fadiga e sensação de muito calor correlacionam-se com o aumento da temperatura interna.
- O desconforto térmico causado por temperaturas elevadas nas salas de aula reduz a capacidade dos alunos de realizar tarefas escolares típicas e reduz os resultados obtidos em exames nacionais que examinam o progresso da aprendizagem.
- Esses efeitos térmicos negativos sobre o desempenho são muito maiores para os alunos com maior dificuldade de aprendizagem.



# FATORES QUE DEFINEM O CONFORTO NAS SALAS DE AULA

category	RH[%]	T [°C]	CO <sub>2</sub> [ppm]
healthy	43 < RH < 67	18.5 < T < 25.5	<1200
moderate	37 < RH < 43 67 < RH < 73	17.5 < T < 18.5	1200-1800
unhealthy	RH < 37 RH > 73	T < 17.5 T > 25.5	>1800





# ESTUDOS

## ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS

LETTER • OPEN ACCESS

Associations between acute exposures to PM<sub>2.5</sub> and carbon dioxide indoors and cognitive function in office workers: a multicountry longitudinal prospective observational study

Jose Guillermo Cedeño Laurent<sup>5,6,1</sup> , Piers MacNaughton<sup>5,1</sup>, Emily Jones<sup>1,2</sup>, Anna S Young<sup>1</sup>, Maya Bliss<sup>1</sup>, Skye Flanigan<sup>1</sup>, Jose Vallarino<sup>1</sup>, Ling Jyh Chen<sup>3</sup> , Xiaodong Cao<sup>4</sup> and Joseph G Allen<sup>1</sup>

Published 9 September 2021 • © 2021 The Author(s). Published by IOP Publishing Ltd

[Environmental Research Letters](#), [Volume 16](#), [Number 9](#)

**Citation** Jose Guillermo Cedeño Laurent *et al* 2021 *Environ. Res. Lett.* **16** 094047

**DOI** 10.1088/1748-9326/ac1bd8

**Quanto maior o nível de PM2.5 e de CO2 no ar, pior os resultados no foco, concentração e desempenho mental.**





# ESTUDOS

- A exposição ao CO<sub>2</sub> de até 5.000 ppm afetou o desempenho cognitivo e de forma mais significativa para tarefas complexas.
- O desempenho de tarefas complexas diminuiu significativamente quando exposto a concentrações adicionais de CO<sub>2</sub> de 1.000 a 1.500 ppm e 1.500 a 3.000 ppm.
- A exposição prolongada ao CO<sub>2</sub> pode exacerbar os efeitos adversos no desempenho de tarefas complexas.
- Recomenda-se manter uma concentração de CO<sub>2</sub> inferior a 1000 ppm nas salas de aula e uma ventilação mínima de 7 L/s por aluno.

Building and Environment 237 (2023) 110331

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Building and Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv)



Short-term exposure to indoor carbon dioxide and cognitive task performance: A systematic review and meta-analysis

Yuejie Fan <sup>a</sup>, Xiaodong Cao <sup>a,b,\*</sup>, Jie Zhang <sup>c,b</sup>, Dayi Lai <sup>d</sup>, Liping Pang <sup>a</sup>

<sup>a</sup> School of Aeronautic Science and Engineering, Beihang University, Beijing, 100191, China

<sup>b</sup> Tianmushan Laboratory, Xixi Octagon City, Yuhang District, Hangzhou, 310023, China

<sup>c</sup> College of Aeronautics and Astronautics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, 030024, China

<sup>d</sup> School of Design, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, China



# ESTUDOS



Building and Environment

Volume 173, 15 April 2020, 106749



## The relationships between classroom air quality and children's performance in school

[Pawel Wargocki](#)<sup>a</sup>  , [Jose Ali Porras-Salazar](#)<sup>b</sup>, [Sergio Contreras-Espinoza](#)<sup>c</sup>, [William Bahnfleth](#)<sup>d</sup>

<sup>a</sup> International Centre for Indoor Environment and Energy, DTU Civil Engineering, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark

<sup>b</sup> School of Architecture, University of Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica

<sup>c</sup> Department of Statistics, University of Bio- Bio, Bio-Bio, Chile

<sup>d</sup> Department of Architectural Engineering, Pennsylvania State University, PA, United States

- **Redução da concentração de CO<sup>2</sup> de:**
  - 2.300 ppm para 900 ppm melhorou o desempenho nos testes usados para avaliar o progresso do aprendizado em 5 %.
  - 4.100 ppm para 1.000 ppm aumentou a frequência diária em 2,5 %.
- **Aumentar a taxa de ventilação em salas de aula na faixa de 2 L/s-pessoa a 10 L/s-pessoa pode trazer benefícios significativos em termos de desempenho de aprendizagem e frequência dos alunos.**



# ESTUDOS



Building and Environment

Volume 157, 15 June 2019, Pages 197-204



## The relationship between classroom temperature and children's performance in school

Pawel Wargocki <sup>a</sup>  , Jose Ali Porras-Salazar <sup>a b c</sup>, Sergio Contreras-Espinoza <sup>d</sup>

<sup>a</sup> International Centre for Indoor Environment and Energy, DTU Civil

Engineering, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark

<sup>b</sup> School of Architecture, University of Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica

<sup>c</sup> Department of Design and Theory of Architecture, University of Bio-Bio, Bio-Bio, Chile

<sup>d</sup> Department of Statistics, University of Bio- Bio, Bio-Bio, Chile

O desempenho de testes psicológicos e tarefas escolares pode aumentar em média 20 % se a temperatura das salas de aulas forem reduzidas de 30 °C para 20 °C, sendo a temperatura ideal inferior a 22 °C.



# ESTUDOS



Building and Environment

Volume 171, 15 March 2020, 106608



## A field study of the individual and combined effect of ventilation rate and lighting conditions on pupils' performance

[Christian A. Hviid](#)  , [Christian Pedersen](#) , [Kent Helmann Dabelsteen](#) 

Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Brovej  
Building 118, DK-2800, Kgs, Lyngby, Denmark

**A velocidade de raciocínio (6,6%,  $P < 0,001$ ), concentração (8,3%,  $P < 0,001$ ) e habilidades matemáticas (11,8%,  $P < 0,006$ ) melhoraram com alta taxa de ventilação e iluminação fria.**



# EM RESUMO...

**AR INTERIOR = AR EXTERIOR + EDIFÍCIO + ATIVIDADES**

**Temperatura: ideal na faixa de 18,5 – 25,1 °C**

**Umidade relativa: ideal 43 % < RH < 67 %**

**CO<sub>2</sub>: ideal < 1200 ppm**

**Ventilação: ideal 7 a 10 L/s por pessoa**

**Um ambiente interno ideal contribui para um melhor clima escolar que, por sua vez, promove o desenvolvimento e a aprendizagem dos alunos!!**



# MUITO OBRIGADA!

REALIZAÇÃO E COORDENAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



PATROCÍNIO

