

## 10<sup>a</sup> CNA-XIICNEA

10<sup>a</sup> Conferência Nacional do Ambiente  
XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente

### Repensar o Ambiente: Luxo ou inevitabilidade?

#### Editores

Carlos Borrego, Ana Isabel Miranda, Luís Arroja, Teresa Fidélis,

Eduardo Anselmo Castro, Ana Paula Gomes

Universidade de Aveiro  
6 a 8 de novembro de 2013

# Ficha Técnica

10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional do Ambiente

ISBN: 978-989-98673-0-7

## Nota explicativa

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na 10ª Conferência Nacional do Ambiente realizada na Universidade de Aveiro, de 6 a 8 de novembro de 2013.

## Editores

Carlos Borrego, Ana Isabel Miranda, Luís Arroja, Teresa Fidélis, Eduardo Anselmo Castro, Ana Paula Gomes

## Desenho da capa

Luís Pinto

## Impressão

Tipografia Minerva Central - Aveiro  
Novembro 2013

## Edição

Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Universidade de Aveiro

## Tiragem

250 exemplares

# Avaliação de CO<sub>2</sub> em Salas de Aula sem Ventilação

Rodrigues, F.<sup>1\*</sup> e Feliciano, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigação de Montanha, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, [\\*fjmrodrig@gmail.com](mailto:fjmrodrig@gmail.com).

## SUMÁRIO

A maioria das pessoas passa cerca de 85% a 90% do seu tempo em ambientes fechados (EEA, 2013), tais como habitações, escritórios, escolas, entre outros. Por essa razão, a qualidade do ar interior (QAI) é tida como um dos fatores determinantes para a produtividade, o conforto e o bem-estar e saúde do homem (Burroughs e Hansen, 2011). Em edifícios escolares, particularmente em salas de aulas, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos poluentes que mais preocupação pode criar aos utilizadores e gestores desses espaços. Apesar de não ser considerado um gás poluente no exterior, em espaços fechados, com ocupação humana e sem ventilação ou ventilação insuficiente, o CO<sub>2</sub> tende a acumular-se, podendo atingir níveis bastante superiores aos valores máximos recomendáveis.

## DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O desenvolvimento do estudo de QAI surgiu com o objetivo de avaliar a dinâmica do CO<sub>2</sub> em salas de aula sem ventilação mecânica. Os ensaios decorreram em 4 salas de aula do Instituto Politécnico de Bragança (duas no edifício da ESAB e outras duas no edifício da ESTiG), com construções e volumes distintos (90 a 380 m<sup>3</sup>). Durante os ensaios experimentais, que decorreram entre Março e Maio de 2013, foi recolhida informação relativa à dimensão do espaço, às aberturas (janelas e portas), e aos ocupantes (número, altura e peso). Em cada uma das salas foi monitorado o CO<sub>2</sub> (GrayWolf DirectSense® IQ-610), a temperatura e humidade relativa, entre as 9 e as 18 horas, perfazendo um total de 6 ensaios em cada sala. Condições meteorológicas exteriores também foram monitoradas. Com os registos dos níveis de CO<sub>2</sub> foi possível obter as renovações de ar (RPH) das salas, ao longo do tempo, com e sem aberturas de janelas. Para o efeito, utilizou-se o método de Newton-Raphson para resolver a equação geral da evolução temporal da concentração do CO<sub>2</sub> em ambientes interiores (Griffiths e Eftekhari, 2008), em ordem à variável caudal de ar novo. Para aplicar este método analítico foi necessária informação adicional como as características dos ocupantes (e.g. massa corporal, altura) para calcular a área de DuBois (Persily, 1997) que em conjunto com a actividade metabólica permite obter a taxa de produção do poluente no espaço fechado.

## RESULTADOS

Os principais resultados permitem identificar uma relação direta entre as concentrações de CO<sub>2</sub> e o número de ocupantes, principalmente durante os períodos em que não ocorre renovação do ar. Nestas condições de ausência de ventilação, os níveis de CO<sub>2</sub> atingem rapidamente os 1000 ppm, mesmo em situações em que a taxa de ocupação é inferior a 30%. Nas salas mais pequenas, os valores médios, para o período de duração dos ensaios, situam-se entre os 1900 e 2300 ppm e nas salas de maior dimensão variam entre os 1000 e 1400 ppm, dado assegurarem um maior volume por ocupante. Durante as pausas para almoço, os níveis de CO<sub>2</sub> sofrem decréscimos de algumas centenas de ppm, mas raramente desceram abaixo dos 1000 ppm durante esses períodos. Quanto às taxas de ventilação natural, verificou-se que, na ausência de aberturas de janelas e portas, a entrada de ar novo oscilou em média entre 1,0 RPH, nas salas do edifício da ESAB, 1,5 RPH, nas salas da ESTiG. Com a abertura de janelas e portas, a ventilação dos espaços interiores melhorou consideravelmente, tendo-se registado aumentos médios de 4 a 10 vezes superiores por m<sup>2</sup> de abertura. Estes valores são representativos de um conjunto vasto de condições

ambientais, nomeadamente de condições de vento e de diferença de temperatura exterior e interior.

### **Conclusão**

A taxa de ocupação das salas é um fator determinante na variação da concentração de CO<sub>2</sub> em locais fechados. Os espaços com menor volume de ar, mediante aberturas, conseguem renovar o ar mais vezes do que espaços maiores, apresentando menores caudais de ar de renovação. A abertura de portas e janelas, em simultâneo ou não, poderá ser uma solução para assegurar a redução dos níveis de CO<sub>2</sub> abaixo dos níveis máximos recomendáveis, mas implicará áreas e tempos de abertura relativamente longos, que poderão ser desaconselhados nas épocas mais frias e ventosas. Estas questões serão aprofundadas e complementadas no futuro com o desenvolvimento de um modelo de gestão de QAI para estas situações.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BURROUGHS, H.E., HANSEN, S.J. **Managing Indoor Air Quality**. 5ª ed. Lilburn, GA: The Fairmont Press, Inc, 2011. ISBN: 978-1-4398-7014-3.

Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, relativo à definição de padrões de qualidade energético-ambiental da construção, e que aprova o Regulamento das Características de Conforto Térmico dos Edifícios (RCCTE). **Diário da República**. 1ª Série (A), N.º 67. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

EEA, European Environmental Agency. **Environment and human health**. Report 5/2013. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. ISSN: 1725-9177. ISBN: 978-92-9213-392-4.

GRIFFITHS, M., EFTEKHARI, M. Control of CO<sub>2</sub> in a naturally ventilated classroom. **Energy and Buildings**. ISSN: 0378-7788. 40:4 (2008) 556-560.

PERSILY, A.K. Evaluating Building IAQ and Ventilation with Indoor Carbon Dioxide. **ASHRAE Transactions**. 103:2 (1997) 12pp.

# AVALIAÇÃO DE CO<sub>2</sub> EM SALAS DE AULA SEM VENTILAÇÃO MECÂNICA

Rodrigues, F.<sup>1\*</sup>, Feliciano, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigação de Montanha, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855, Bragança, Portugal, \*[fimrodrig@gmail.com](mailto:fimrodrig@gmail.com).

## Introdução

A maioria das pessoas passa acima de 85% do seu tempo em ambientes fechados (EEA, 2013), tais como habitações, escolas, entre outros. Por essa razão, a qualidade do ar interior (QAI) é tida como um fator determinante para a produtividade, o bem-estar e a saúde do homem (Burroughs e Hansen, 2011). Em salas de aulas, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos poluentes que mais preocupa os utilizadores e gestores desses espaços. Apesar de não ser considerado um gás poluente no exterior, em espaços fechados, com ocupação humana e com ventilação ineficiente, o CO<sub>2</sub> tende a acumular-se, podendo atingir níveis bastante superiores aos valores máximos recomendáveis.

## Metodologia

O estudo de QAI surgiu com o objetivo de avaliar a dinâmica do CO<sub>2</sub> em salas de aula sem ventilação mecânica. Os ensaios decorreram em 4 salas de aula do Instituto Politécnico de Bragança, duas no edifício da Escola Superior Agrária (ESA) e duas no edifício da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG), com construções e volumes distintos. Durante os ensaios experimentais, que decorreram entre Março e Maio de 2013, foi recolhida informação relativa à dimensão do espaço, às aberturas (e.g. janelas e portas), e aos ocupantes (número, massa corporal e altura). Em cada uma das salas foi monitorado o CO<sub>2</sub> (GrayWolf DirectSense® IQ-610), a temperatura e humidade relativa, entre as 9 e as 18 horas, perfazendo um total de 6 ensaios em cada sala. Condições meteorológicas exteriores também foram monitoradas.

### Ventilação natural

Ventilação das salas por via manual, através da abertura de janelas e portas, e em algumas salas também clarabóias.

**Vento**  
Monitorização da velocidade do vento

**Temperatura**  
Monitorização da temperatura interior e exterior

### CO<sub>2</sub> no interior

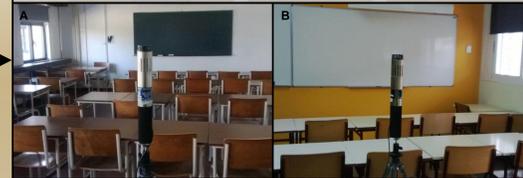


Figura 1 – Sonda DirectSense® IQ-610, na sala G3-S5/01 (A) e na sala 115 (B).

### Ocupantes

N.º de ocupantes, a sua altura, massa corporal e atividade metabólica.

### Salas

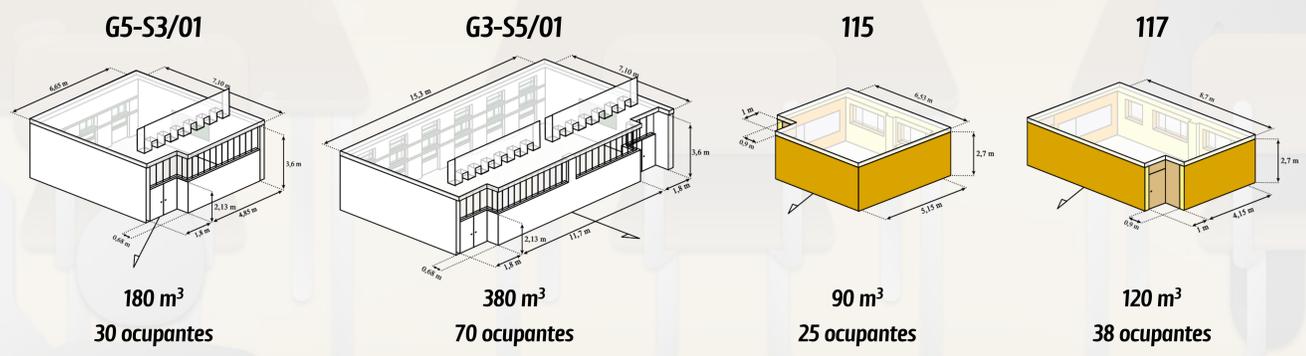


Figura 2 – Volume, N.º máximo de ocupantes e representação geométrica das salas monitoradas.

Através do CO<sub>2</sub> observado obtiveram-se as renovações de ar por hora (RPH) das salas, ao longo do tempo, com e sem aberturas. Para o efeito, utilizou-se o método de Newton-Raphson para resolver a equação geral da evolução temporal da concentração do CO<sub>2</sub> em ambientes interiores (CIBSE, 2005; Griffiths e Eftekhari, 2008), em ordem à variável caudal de ar novo.

## Resultados

Os principais resultados permitem identificar uma relação direta entre as concentrações de CO<sub>2</sub> e o n.º de ocupantes, sobretudo durante os períodos em que não ocorre renovação do ar. Nessas condições, os níveis de CO<sub>2</sub> atingem rapidamente os 1000 ppm, mesmo em situações em que a taxa de ocupação é inferior a 30%. Nas salas mais pequenas, os valores médios, para o período de duração dos ensaios, situam-se entre os 1900 e 2300 ppm e nas salas de maior dimensão variam entre os 1000 e 1400 ppm, dado assegurarem um maior volume por ocupante. Durante as pausas para almoço, os níveis de CO<sub>2</sub> sofrem decréscimos de algumas centenas de ppm, mas raramente desceram abaixo dos 1000 ppm durante esses períodos.

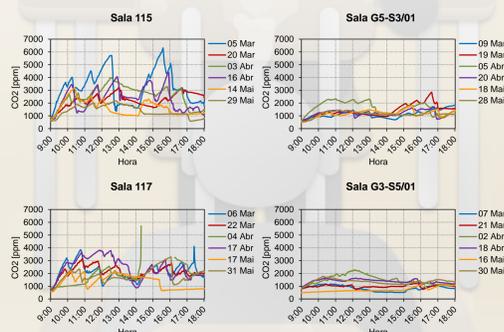


Figura 3 – Concentrações de CO<sub>2</sub> registadas ao longo dos 6 ensaios em cada sala.

Quanto às taxas de ventilação natural, na ausência de aberturas, a entrada de ar novo oscilou em média entre 1,0 RPH, nas salas da ESA, e 1,5 RPH, nas salas da ESTiG. Com aberturas, a ventilação melhorou bastante, tendo-se registado aumentos médios de 4-10 vezes superiores por m<sup>2</sup> de abertura. Estes valores são representativos de um conjunto vasto de condições ambientais, sobretudo de condições de vento e de diferença de temperatura exterior e interior.

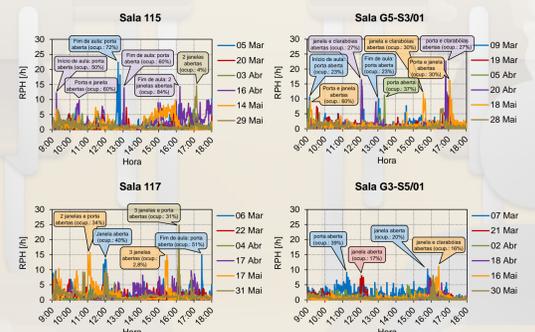


Figura 4 – Renovações de ar por hora com destaques para os valores mais elevados, registadas ao longo dos 6 ensaios em cada sala.

## Conclusões

A taxa de ocupação das salas é um fator determinante na variação da concentração de CO<sub>2</sub> em locais fechados. Os espaços com menor volume de ar, mediante aberturas, conseguem renovar o ar mais vezes do que espaços maiores, apresentando menores caudais de ar de renovação. A abertura de portas e janelas, em simultâneo ou não, poderá ser uma solução para assegurar a redução dos níveis de CO<sub>2</sub> abaixo dos níveis máximos recomendáveis, mas implicará áreas e tempos de abertura relativamente longos, que poderão ser desaconselhados nas épocas mais frias e ventosas. Estas questões serão aprofundadas e complementadas no futuro com o desenvolvimento de um modelo de gestão de QAI para estas situações.

### Referências bibliográficas

Burroughs, H.E., Hansen, S.J. (2011). *Managing Indoor Air Quality*. 5th edition. Liburn, GA. The Fairmont Press, Inc. ISBN: 978-1-4398-7014-3.  
 CIBSE. (2005). *Natural Ventilation in Non-domestic Buildings*. Applications Manual AM 10. The Chartered Institution of Building Services Engineers Publications. London, UK. ISBN: 1-903287-56-1  
 EEA. (2013). *Environment and human health*. European Environmental Agency, Report 5/2013. Luxembourg. Publications Office of the European Union. ISBN: 978-92-9213-392-4.  
 Griffiths, M., Eftekhari, M. (2008). *Control of CO<sub>2</sub> in a naturally ventilated classroom*. Energy and Buildings, 40(4): 556-560.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio prestado pela ESA e ESTiG neste estudo, nomeadamente aos docentes e discentes envolvidos diretamente na realização da experiência.

