

VENTILAÇÃO POR ABERTURA DE JANELAS: ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS RECOLHIDOS EM SALAS DE AULA

Rogério Duarte^{1*}, Maria da Glória Gomes² e António Moret Rodrigues²

1: CINEA, DEM

Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

Instituto Politécnico de Setúbal

e-mail: rogerio.duarte@estsetubal.ips.pt, web: <http://investigacao.ips.pt/cinea>

2: CERis, ICIST, DECivil

Instituto Superior Técnico

Universidade de Lisboa

e-mail: {maria.gloria.gomes, moret.rodrigues}@tecnico.ulisboa.pt web: <http://ceris.pt>

Palavras-chave: Ventilação natural; qualidade do ar interior; abertura manual de janelas; conforto; sala de aula, escola JCTES – Ministério das Obras Públicas e Comunicações

Resumo. *A ventilação de salas de aula é habitualmente feita por abertura de janelas. Esta é a solução tradicional sendo perfeitamente adequada para tempo quente, porém, quando as temperaturas exteriores baixam, estudantes e professores deixam as janelas fechadas reduzindo substancialmente os caudais de ventilação, resultando na deterioração da qualidade do ar interior. Este artigo tem por objetivo compreender as condições em que a ventilação com abertura manual de janelas é adequada. Para isso usam-se 2 anos de dados de monitorização de 4 salas de aula de uma escola básica e secundária nacional (um antigo liceu com projeto da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário – Ministério das Obras Públicas e Comunicações, reabilitado pela Parque Escolar na segunda metade dos anos 2000). Analisam-se os caudais de ventilação nas salas concluindo-se que a abertura de janelas é adequada com temperaturas exteriores diárias superiores a 19°C. Quando estas temperaturas são inferiores a 16°C a ventilação por abertura de janelas torna-se insuficiente e, entre 16 e 19°C, a adequabilidade vai depender da temperatura interior. Para as salas de aula monitorizadas e condições exteriores observadas conclui-se que a ventilação por abertura manual de janelas permite ambientes interiores adequados (não só sob o ponto de vista da ventilação e qualidade do ar interior, mas também do conforto térmico) durante aproximadamente 25% do ano letivo.*

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, salas de aula de escolas públicas nacionais são ventiladas por abertura manual de janelas. Durante as estações intermédias as janelas permanecem abertas assegurando-se ventilação adequada e evitando-se sobreaquecimentos nas salas, contudo, à medida que a temperatura exterior baixa, o desconforto provocado por correntes de ar e redução da temperatura interior faz com que estudantes e professores mantenham as janelas fechadas. No passado, em virtude de uma elevada permeabilidade ao ar dos caixilhos, as infiltrações que se observavam nas salas de aula com janelas fechadas podiam ser significativas, algo que tornava as salas mais desconfortáveis, sob o ponto de vista térmico, mas proporcionava uma melhor qualidade do ar interior. Com a redução da permeabilidade dos atuais caixilhos, o caudal de infiltração com as janelas fechadas diminuiu significativamente, sendo isto por um lado vantajoso, visto que contribui para o conforto térmico com tempo frio, mas por outro lado nocivo, visto que os caudais de ventilação nas salas de aula ficam demasiado baixos, e aquém do recomendável para o desenvolvimento do processo ensino e aprendizagem.

Quando interrogados sobre se preferem salas de aula quentes e mal ventiladas ou salas de aula frias e ventiladas, estudantes e professores são normalmente unânimes na opção pelo conforto térmico [1] – por salas de aula quentes –, isto devido à primazia que o controlo termoregulatório humano possui, especialmente, quando estudantes e professores desconhecem os malefícios de ambientes interiores poluídos e mal ventilados. Cabe por isso a projetistas e gestores escolares acautelar caudais mínimos de ventilação em salas de aula, desenvolvendo soluções híbridas que contemplem alternativas à abertura de janelas para ventilar com tempo frio e atuando ao nível comportamental, informando estudantes e professores dos problemas associados à má ventilação e ensinando-lhes as melhores praticas.

Contudo, apesar de ser fácil opinar sobre o que deve ser feito quando a ventilação por abertura de janelas é insuficiente, em salas de aula (em geral, em salas ventiladas naturalmente) é muito difícil determinar quando ocorre má ventilação; isto porque os dados não estão disponíveis. Com efeito, em salas ventiladas naturalmente não é habitual ter dados sequer de temperatura, quanto mais de caudais de ventilação.

Com o presente estudo monitorizaram-se 4 salas de aula durante 2 anos recolhendo-se dados de ocupação das salas, do ambiente interior e ainda do ambiente exterior. Com os dados de ocupação por aula (por lição) e com os registos de concentração de CO₂ no interior das salas foi possível obter caudais médios diários de ventilação por sala. Estes resultados foram cruzados com temperaturas interiores e temperaturas no exterior, tendo sido possível determinar, ao longo do ano letivo, as combinações de temperaturas que justificam (ou desaconselham) o recurso a abertura manual de janelas para ventilação das salas de aula e determinar, ainda, a percentagem do ano letivo em que a abertura de janelas assegura por si só condições interiores adequadas.

2. AS SALAS DE AULA ESTUDADAS

Estudaram-se quatro salas de aula de uma escola secundária pública localizada em Lisboa. A escola, construída na década 1940, integra-se no denominado *Plano de 38* [2] com projeto da responsabilidade da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCETS – Ministério das Obras Públicas e Comunicações). Trata-se de um antigo *liceu* que se desenvolvia em dois e três pisos, com um corpo central onde se concentravam os serviços administrativos e de onde partiam alas formando um U dedicadas ao ensino – ver Figura 1. Nestas alas, para além das salas de aula tradicionais, encontravam-se diversos laboratórios e um ginásio.

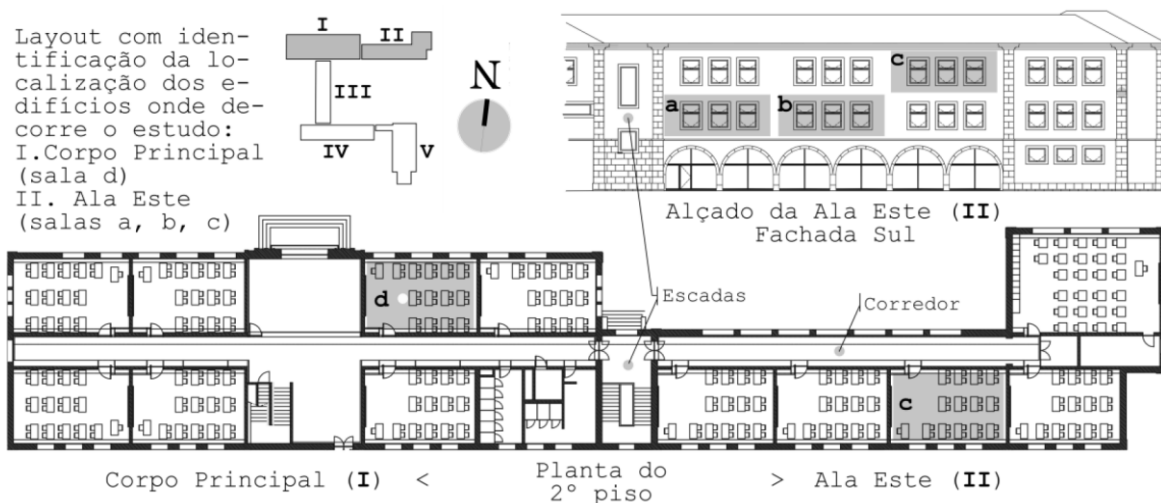


Figura 1. Layout, planta e alçado com localização das quatro salas de aula (a, b, c e d) estudadas.

Esta escola teve obras de renovação pela Parque Escolar na segunda metade de 2000, contudo, apesar das alterações funcionais introduzidas, as alas dedicadas ao ensino mantiveram no essencial a sua função, sendo as alterações mais relevantes para o presente estudo a substituição de caixilhos e vidros (simples) por soluções atuais, a substituição dos estores exteriores e a introdução de elementos de sombreamento fixos – ver Figura 2. Mantiveram-se as soluções originais de paredes de alvenaria ordinária de pedra rebocadas – sem isolamento térmico – e pavimentos que assentam nas paredes resistentes com lajes de piso em betão armado. O revestimento dos pavimentos é agora em linóleo e acrescentaram-se placas para atenuação acústica no teto.

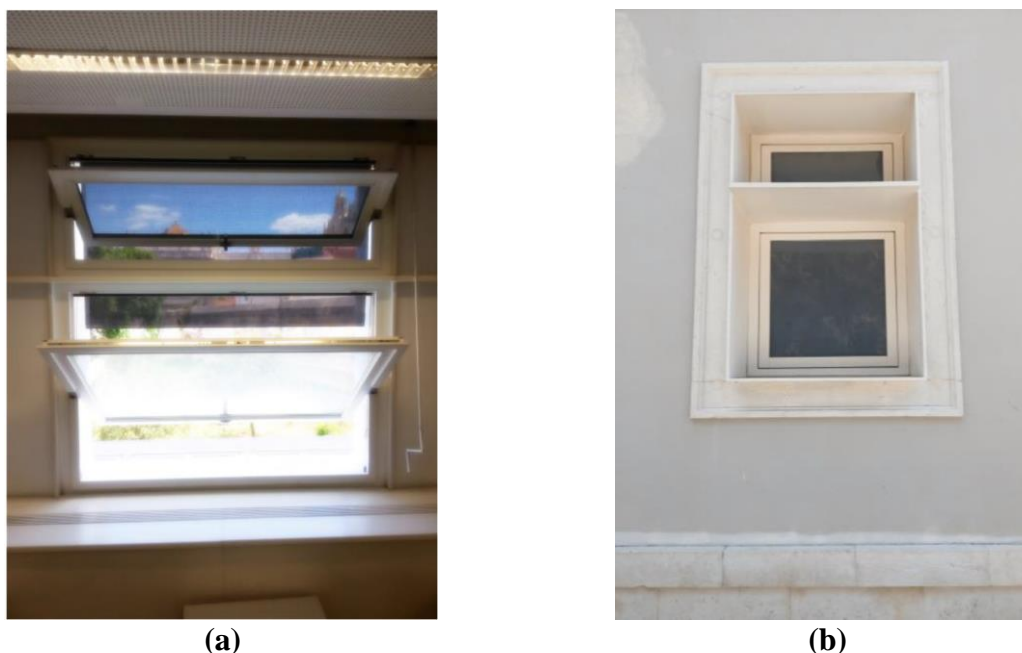


Figura 2. Fotografias com (a) vista interior de um vão envidraçado numa sala de aula, dividido em parte inferior e superior e equipado com caixilho (em madeira) pivotante e tela de sombreamento móvel (semifechada, pelo exterior); e, (b) pormenor de elementos fixos de sombreamento de um vão envidraçado (numa fachada onde se dispensam elementos de sombreamento móveis).

A escola foi igualmente dotada de um sistema de ventilação mecânica com capacidade de aquecimento e arrefecimento que, no entanto, durante o estudo não esteve em funcionamento nas salas monitorizadas, razão pela qual se dispensa a sua descrição.

Ao leitor interessado sugere-se a consulta da referência [3] que apresenta outros detalhes das salas de aula e discute a estratégia de ventilação implementada.

2. MONITORIZAÇÃO

2.1. Monitorização das salas de aula

A monitorização das salas de aula contemplou duas vertentes, a ocupação e as condições ambiente. Para caracterizar a ocupação recolheram-se dos livros de ponto de cada uma das salas dados relativos a número de alunos por aula e ano escolar da turma a ter aula. Para o período de monitorização, entre setembro de 2012 e junho de 2014, obtiveram-se dados para mais de 16 turmas distintas do 5º ao 12º ano de escolaridade num total de alunos em aula nas salas monitorizadas superior a 300.

A Figura 3 apresenta para cada sala diagramas de extremos e quartis do número médio diário de alunos \bar{n} e do nível escolar médio diário (entre o 5º e o 12º ano).

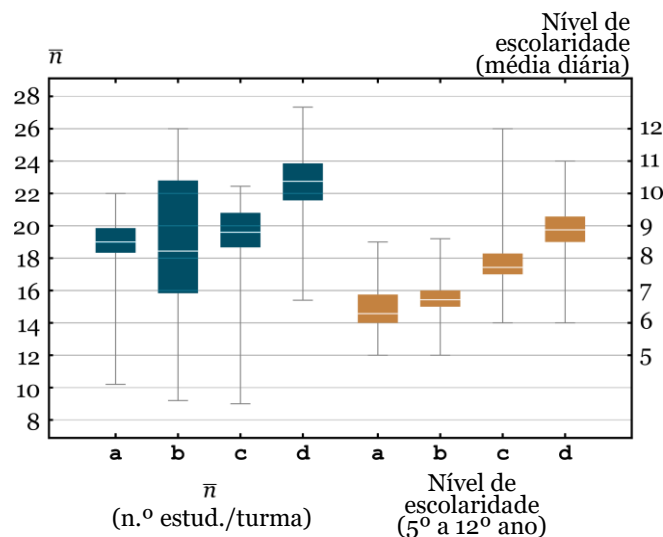


Figura 3. Diagramas de extremos e quartis relativos ao número médio diário de alunos e ao nível médio diário de escolaridade das turmas que têm aulas nas quatro salas estudadas.

A Figura 3 mostra que a mediana do número diário de estudantes por aula varia entre 18,5 e 22,8. A sala de aula **d** é usada por turmas com maior número de alunos, sendo na sala de aula **b** que se observa maior variância no número diário de alunos em aula. No que diz respeito ao nível de escolaridade, as salas **a** e **b** são usadas maioritariamente pelos 5º a 9º anos, enquanto que as salas **c** e **d** também são usadas por turmas mais avançadas do 11º e 12º anos.

A avaliar pelos dados de ocupação da Figura 3 conclui-se existirem diferenças relevantes no tipo de ocupação não só entre salas, mas também dentro de uma mesma sala. Isto deve-se ao facto de uma sala ser por norma ocupada por duas turmas, a turma da manhã e a da tarde e, os critérios de atribuição de salas às turmas variar de um ano letivo para o outro. Para o presente estudo esta variabilidade é bem-vinda originando uma amostra mais diversa e representativa.

Relativamente ao ambiente interior, registaram-se entre setembro de 2012 e junho de 2014 valores de temperatura (de bolbo seco) e concentração de CO₂ no ar. Estes registos foram realizados com sensores Sauter [4] e armazenados pelo sistema de gestão técnica centralizada da escola. Apesar de se possuírem registos para as 24 horas do dia, apenas foram tratados dados relativos a dias de aula entre as 8h10 e as 18h30, ou seja, apenas se tratam períodos em que, de acordo com o calendário escolar, as salas estão a ser usadas.

A Figura 4 apresenta diagramas de extremos e quartis relativos a valores médios diários registados nas salas de aula. Esta figura inclui ainda, para termo de referência, o diagrama para a temperatura média diária exterior, quando se excluem fins de semana, feriados, períodos de férias e se contabiliza apenas o período (diurno) de ocupação das salas de aula, entre as 8h10 e as 18h30.

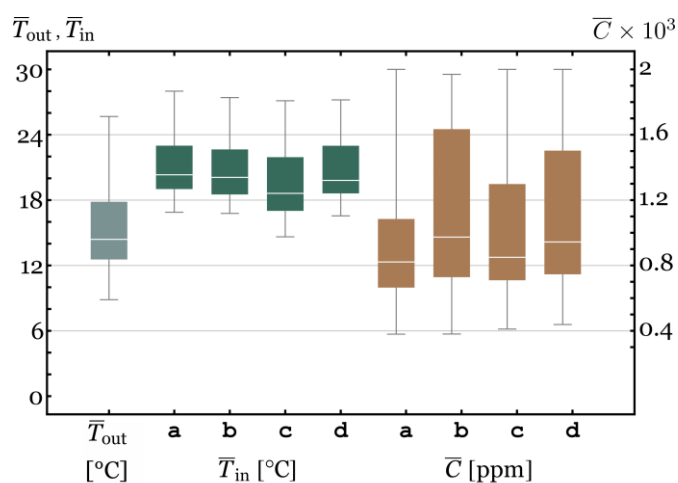


Figura 4. Diagramas de extremos e quartis relativos aos valores médios diários de temperatura exterior (\bar{T}_{out}), interior (\bar{T}_{in}) e concentração absoluta de CO₂ no interior das quatro salas estudadas (\bar{C}).

3. MONITORIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXTERIORES

O ambiente exterior foi monitorizado de junho de 2012 a junho de 2014 perfazendo dois ciclos de 365 dias, 24 horas por dia, 7 dias por semana. Durante este período uma estação meteorológica Davis Vantage Pro [5] registou em intervalos de 10 minutos valores de temperatura e humidade relativa do ar, radiação global num plano horizontal, precipitação, velocidade e direção do vento. Adicionalmente, usando um sensor CO2Meter [6], registaram-se valores de concentração atmosférica de CO₂ nas imediações da escola em três períodos de 15 dias no outono, inverno e primavera do ano letivo 2012-2013.

Na Figura 5 apresentam-se resultados da monitorização. Esta figura evidencia a existência de padrões sazonais nos registos de temperatura do ar e radiação solar. Como esperado, é no verão que se observam os valores mais elevados destas variáveis e, no inverno, observam-se os valores mais reduzidos. Já no que diz respeito à velocidade do vento, a oscilação entre verão e inverno não é tão vincada, sugerindo os dados uma variação quase aleatória da velocidade diária do vento em torno de um valor médio anual de aproximadamente 2 m/s.

Dos diagramas de extremos e quartis apresentados nas laterais da Figura 5 é possível concluir que a mediana das temperaturas diárias do ar exterior foi 16,4°C, com 1º e 3º quartis (percentil 25% e 75%) de 13°C e 20,5°C, respetivamente. Destacam-se estes resultados pois diferem dos apresentados na Figura 4. Estas diferenças resultam de aí se considerarem apenas os períodos de aula entre as 8h10 e as 18h30

excetuando fins de semana, feriados e interrupções para férias. Em consequência, numa análise anual, as temperaturas médias diárias exteriores (e também as interiores, no caso de salas não aquecidas) reduzem-se significativamente, realçando a importância do aquecimento nas salas de aula nacionais.

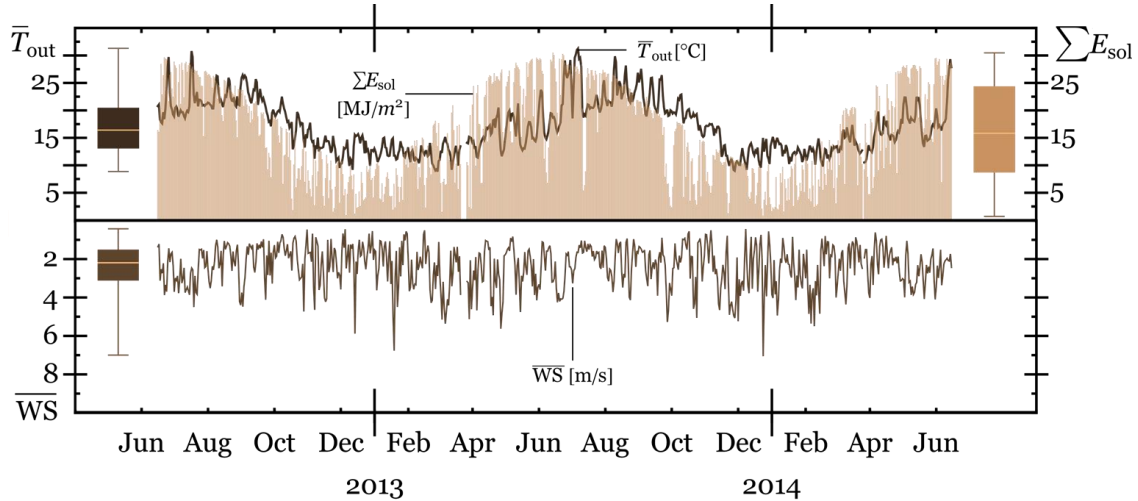


Figura 5. Gráficos de dispersão e diagramas de extremos e quartis para três variáveis ambientais exteriores: temperatura média diária do ar (\bar{T}_{out}), radiação solar total diária (ΣE_{sol}) e velocidade média diária do vento (\bar{WS}).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ventilação

Para determinar valores médios diários de ventilação – ver Figura 6 – usaram-se os registos de concentração de CO_2 e valores de produção diária de CO_2 metabólico (recorrendo a expressões apresentadas em [7] e aos níveis médios diários de escolaridade). Considerou-se a expressão [8, 9]

$$Q = \dot{M} / \bar{c} \quad (1)$$

com Q a taxa de ventilação ($m^3/s/pessoa$), \dot{M} a taxa de produção metabólica de CO_2 ($cm^3/s/pessoa$), e \bar{c} a concentração relativa de CO_2 (ppm) na sala de aula (admitiu-se uma eficiência de ventilação unitária).

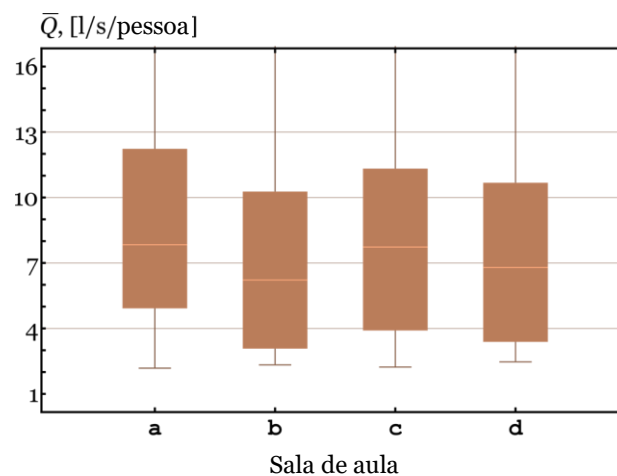


Figura 6. Diagramas de extremos e quartis do caudal de ventilação médio diário nas salas de aulas, \bar{Q} . A Figura 6 mostra que as medianas dos caudais diários variam entre 6 e 8 l/s/pessoa, com 1º e 3º quartis

compreendidos entre 3 e 12 l/s/pessoa, respetivamente. Observa-se uma maior frequência de caudais inferiores a 4 l/s/pessoa especialmente nas salas de aula **b** e **d**, salas onde são mais frequentes concentrações de CO₂ excedendo os 1200 ppm.

4.2. Temperatura interior versus temperatura exterior

A Figura 7 apresenta um diagrama de *áreas de contorno* com as probabilidades conjuntas P^* associadas a diferentes combinações de temperatura diária do ar exterior e do ar interior nas salas de aula (na realidade, usa-se um valor filtrado da temperatura do ar exterior, designado de *outdoor running mean temperature* [10] e representado por T_{out}^{rm}), ou seja, $P^* = P(T_{out}^{rm} = T_j, \bar{T}_{in} = T_k)$, com o par ordenado (T_j, T_k) a tomar valores $\{9,12,15,18,21\}$ e $\{14,17,20,23,26\}$ para T_j (temperatura exterior) e T_k (temperatura interior), respetivamente.

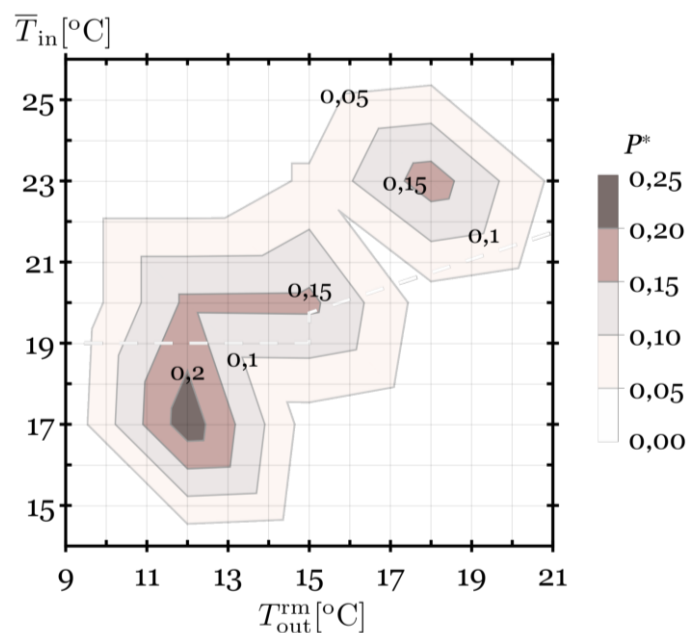


Figura 7. Diagrama de *áreas de contorno* das probabilidades conjuntas de temperaturas médias diárias exteriores e interiores.

Para ajudar a interpretar a Figura 7, atente-se à área de contorno mais escura, na proximidade do ponto (12°C; 17,5°C), representando probabilidades entre 20 e 25%. Como os dados usados na obtenção da Figura 7 são de 2 anos letivos, torna-se possível afirmar que a probabilidade de ocorrência deste par de temperaturas (médias diárias) exterior-interior excede os 20%. Com efeito, a região em torno de (12°C; 17,5°C) caracteriza um “cluster” de ocorrências com tempo frio, enquanto que a região em torno de (18°C; 23°C), por exemplo, caracteriza um “cluster” de ocorrências com tempo quente.

A Figura 7 também representa a linha – a tracejado branco – de conforto térmico como definido em [10] (categoria III) para edifícios ventilados de modo natural. Pode concluir-se que para tempo frio – com temperaturas diárias exteriores inferiores a 16~17°C –, a probabilidade de desconforto (a área da mancha de contorno abaixo da linha tracejada) é elevada. Com efeito, a análise dos dados revela ser a probabilidade de desconforto de 39,5%. Já o desconforto na estação quente é muito menos provável.

Um outro aspeto que importa realçar na Figura 7 é a elevada probabilidade de se terem temperaturas

médias diárias interiores de 19, 20 ou até 21°C com temperaturas médias exteriores baixas, de 12 ou 11°C. Para as salas de aula estudadas, ventiladas com abertura de janelas, este resultado só é possível se as janelas se mantiverem fechadas. Na secção seguinte apresentam-se resultados corroborando esta análise.

4.3. Ventilação versus temperatura

Reconhecendo o interesse e a riqueza da análise possível com a Figura 7, introduz-se nesta secção uma “complicação” adicional definindo a probabilidade condicionada P^{**} do caudal de ventilação ser superior a um valor específico Q_i e simultaneamente observarem-se combinações específicas (T_j, T_k) de temperatura exterior e temperatura interior, ou seja,

$$P^{**} = P(\bar{Q} \geq Q_i \mid T_{\text{out}}^{\text{rm}} = T_j, \bar{T}_{\text{in}} = T_k). \quad (2)$$

Seleciona-se o valor de caudal de ventilação $Q_i = 4$ l/s/pessoa, uma vez que abaixo deste valor as concentrações de CO₂ nas salas de aula (em regime estacionário) excedem os 1200 ppm [10], com prejuízo para a saúde e para o desempenho dos estudantes [11, 12].

Valores da probabilidade condicionada definida na equação (2) são apresentados na Figura 8. Nesta figura, às áreas de contorno explicadas na Figura 7 – que representam probabilidades conjuntas P^* de temperaturas exterior e interior –, sobrepõem-se linhas de contorno que representam diferentes probabilidades (entre 0,4 e 1,0, ou seja, 40% e 100%) do caudal de ventilação na sala de aula exceder 4 l/s/pessoa.

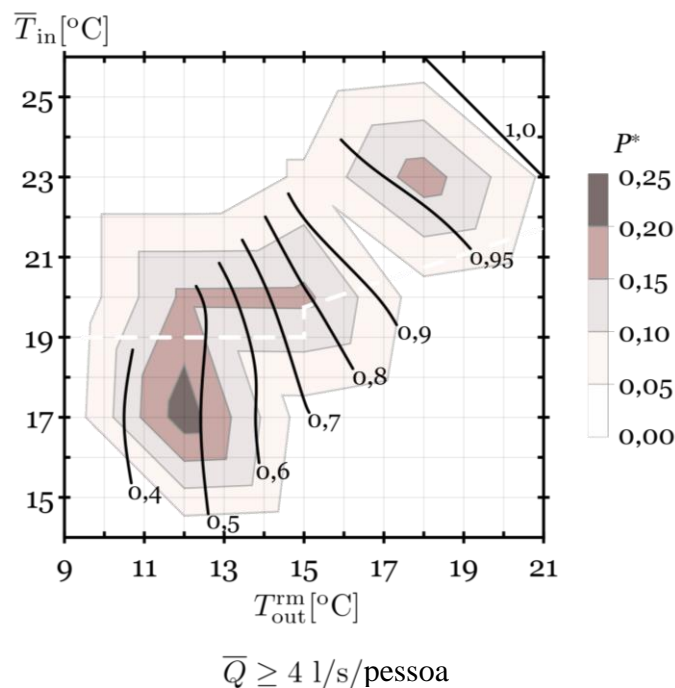


Figura 8. Diagrama de contorno da probabilidade do caudal de ventilação médio diário na sala de aula \bar{Q} exceder 4 l/s/pessoa, condicionado a pares de valores de temperatura $(T_{\text{out}}^{\text{rm}}, \bar{T}_{\text{in}}) = (T_j, T_k)$, com $T_j = \{9, 12, 15, 18, 21\}$ e $T_k = \{14, 17, 20, 23, 26\}$.

Para ajudar a leitura da Figura 8 considerem-se os pares de temperaturas (médias diárias) exterior-interior (18°C, 22°C) e (12°C, 18°C). Para o primeiro par, com tempo quente, conclui-se que a probabilidade de se

exceder caudais de ventilação (médios diários) de 4 l/s/pessoa é de aproximadamente 95%. Para o último par, que retrata tempo frio, esta probabilidade desce para aproximadamente 50% (47%). Ou seja, as linhas de contorno representadas a preto e numeradas entre 0,4 e 1,0 traduzem pares ordenados $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ com probabilidades condicionais iguais de \bar{Q} exceder 4 l/s/pessoa.

Uma vez que estas linhas de contorno foram obtidas tratando dados de dois anos letivos, a área de contorno P^* (relativa a T_{out}^{rm} versus \bar{T}_{in}) para a direita de cada linha traduz a proporção do número de dias do ano letivo com determinada probabilidade condicionada de $\bar{Q} \geq 4$ l/s/pessoa, por exemplo, a área na Figura 8 para a direita da linha 1,0 representa condições $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ (no ano letivo) com 100% probabilidade de ter caudais médios diários superiores a 4 l/s/pessoa. De igual modo, a área para a direita da linha 0,95 representa condições $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ com 95% de probabilidade de ter caudais médios diários superiores a 4 l/s/pessoa.

A Tabela 1 apresenta as probabilidades (num ano letivo) de pares $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ estarem para a direita das linhas de contorno representadas na Figura 8.

Linha de contorno	Região R para a direita da linha de contorno				
	0,4	0,6	0,8	0,95	1,0
Probabilidade [%]	99	58	46	24	11

Tabela 1. Probabilidade (num ano letivo) de pares de temperatura $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ estarem na região R para a direita da linha de contorno 0,4; 0,6; 0,8; 0,95 ou 1,0 na Figura 8.

Dos valores apresentados nesta tabela importa reter, em especial, o valor correspondente à probabilidade de pares $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ estarem na região para a direita da linha de contorno 0,95, ou seja, 24%. Isto porque no Anexo G da norma EN ISO 15251:2007 [10] se admitem desvios de limites mínimos de caudais de ventilação (que aqui consideramos tratar-se de 4 l/s/pessoa) se estes ocorrerem menos de 5% do tempo. Ora, o valor de 24% para o contorno 0,95 corresponde à probabilidade de num ano letivo se terem condições $(T_{out}^{rm}, \bar{T}_{in})$ em que $\bar{Q} \geq 4$ l/s/pessoa com uma probabilidade de 95%, o mesmo que ter $\bar{Q} < 4$ l/s/pessoa com uma probabilidade de 5%. Conclui-se, então, que a ventilação por abertura manual de janelas assegurou caudais de ventilação que, de acordo com a norma EN ISO 15251:2007 [10], são adequados aproximadamente 25% do ano letivo.

Atentando agora à forma da linha de contorno 0,95, vê-se que esta só se define para temperaturas superiores a 16°C (aproximadamente). Ou seja, para as salas estudadas (não aquecidas), projetistas e gestores escolares só devem equacionar o recurso a ventilação com abertura manual de janelas para temperaturas diárias exterioresⁱ superiores a 16°C; e só quando as temperaturas diárias interiores excedem 23°C, sensivelmente. Para temperaturas diárias exteriores mais elevadas admitem-se temperaturas diárias interiores mais baixas, sendo que a partir de temperaturas diárias exteriores da ordem de 19°C se conclui ser a ventilação por abertura manual de janelas adequada.

Existe ainda um outro aspeto que merece ser realçado. A Figura 8 mostra como as linhas de contorno se tornam verticais para temperaturas exteriores inferiores a 14°C, aproximadamente. Ou seja, independentemente da temperatura interior, quando a temperatura exterior é baixa não se observam variações devido ao uso das janelas, permanecendo estas, presume-se, a maior parte do tempo fechadas. Esta última interpretação dos resultados faz uso fundamentalmente da experiência recolhida no dia a dia, mas permite destacar a importância de possuir dados de caudais de ventilação natural e destaca também o

ⁱ Em rigor, para *outdoor running mean temperatures*.

interesse destes dados para projetistas, gestores escolares e, em última análise, para o bem-estar e para o sucesso académico nas escolas.

5. CONCLUSÃO

Dados recolhidos durante 2 anos em 4 salas de uma escola pública nacional permitiram avaliar pares de condições ambiente exterior e interior para os quais a ventilação por abertura manual de janelas é adequada (considerando a norma EN ISO 15251:2007, Categoria III [10]).

Concluiu-se que a abertura manual de janelas conduz a caudais de ventilação *adequados*, quando a temperatura (média diária) exterior é superior a 19°C, e *insuficientes*, quando a temperatura (média diária) exterior é inferior a 16°C. Caso a temperatura (média diária) exterior esteja entre 16 e 19°C, a adequabilidade da ventilação por abertura manual de janelas depende da temperatura (média diária) interior. Concluiu-se ainda que para as salas monitorizadas e as condições exteriores observadas a ventilação por abertura manual de janelas permite ambientes interiores adequados (não só sob o ponto de vista da ventilação e qualidade do ar interior, mas também do conforto térmico) durante aproximadamente 25% do ano letivo.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Griffiths, M. Eftekhari, "Control of CO₂ in a naturally ventilated classroom," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 556-560, 2008.
- [2] A. Alegre *et al.*, *Liceus, Escolas Técnicas e Secundárias*. Parque Escolar, EPE, 2010.
- [3] R. Duarte, M. Glória Gomes, A. Moret Rodrigues, "Classroom ventilation with manual opening of windows: Findings from a two-year-long experimental study of a Portuguese secondary school," *Building and Environment*, vol. 124, pp. 118-129, 2017.
- [4] Sauter, *Sauter components catalog for EGQ212, 222: Transducers for CO₂ and Temperature*, n.d.
- [5] Davis, Precision Weather Instruments, *Davies Instruments 2010 Catalog*, 2010.
- [6] CO₂Meter, CO₂ 1% or 30%, Temperature & %RH, Diffusion Data Loggers, 2011. www.co2meter.com (acedido em maio de 2015).
- [7] D. Coley, A. Beisteiner, "Carbon dioxide levels and ventilation rates in schools," *International Journal Ventilation*, vol. 1, pp. 45-52, 2002.
- [8] EN ISO 16814, "Building Environment Design – Indoor Air Quality – Methods of Expressing the Quality of Indoor Air for Human Occupancy," CEN – European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2008.
- [9] BS PD CR 1752, "Ventilation for Buildings – Design Criteria for the Indoor Environment," British Standard Institution, United Kingdom, 1998.
- [10] EN ISO 15251, "Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics," CEN – European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2007.
- [11] S. Fraga *et al.*, "Indoor air quality and respiratory symptoms in Porto schools," *Revista Portuguesa de Pneumologia*, vol. XIV, p. 487, 2008.
- [12] M. Mendell and G. Heath, "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature," *Indoor Air*, vol. 15, pp. 27–52, 2005.