

10_14

REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM SERVIÇO E EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

1. INTRODUÇÃO

Uma educação de excelência é um objectivo claro de qualquer sociedade moderna. Vários estudos internacionais [1] têm sido realizados para melhor avaliar a performance/desempenho dos estudantes, bem como os factores que mais a influenciam, nomeadamente o ambiente interior das salas de aula.

Em Portugal, a questão da reabilitação dos edifícios escolares apresenta-se como um investimento estratégico, consubstanciado no "Programa de Modernização das Escolas de Ensino Secundário" [2], que visa, entre outros objectivos, assegurar um desempenho higrotérmico adequado, a eficiência energética e a qualidade do ar interior dos edifícios, respeitando os DL n.ºs 78/2006, 79/2006 e 80/2006 (SCE – Sistema de Certificação Energética; RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios; RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios) [3], [4] e [5].

Trata-se de uma oportunidade excepcional para melhorar as condições de utilização dos edifícios escolares, garantindo-se, simultaneamente, o conforto dos utilizadores, a eficiência energética, a durabilidade das soluções e a sustentabilidade da exploração dos edifícios reabilitados. No entanto, a reabilitação de edifícios existentes pode, muitas vezes, ser incompatível com a regulamentação que, na generalidade dos casos, foi concebida para edifícios novos. Os padrões impostos pela nova regulamentação devem ser comparados com as exigências existentes noutros países e

validados através da medição do desempenho em serviço.

Os autores entendem que a avaliação do desempenho higrotérmico dos edifícios escolares, em condições de serviço, é fundamental, pois só assim será possível validar as soluções técnicas mais adequadas, em função das reais necessidades e dos custos de investimento, exploração e manutenção. Com esse objectivo desenvolveu-se uma campanha experimental de medição da temperatura, humidade relativa e concentração de dióxido de carbono em salas de aula de escolas não reabilitadas e escolas reabilitadas com diferentes estratégias, cujos resultados e sua interpretação são apresentados nesta publicação, bem como uma reflexão sobre as exigências regulamentares em vigor.

2. ENERGIA, CONFORTO E CUSTOS

A reabilitação dos edifícios escolares deve ser realizada não só com o intuito de cumprir os requisitos de eficiência energética mas também o de otimizar os níveis de conforto para professores e alunos, maximizando, por esta via, as condições para uma melhor aprendizagem, com um investimento inicial, custo de exploração e de manutenção viáveis. De acordo com Santamouris et al. [6], os principais factores que afectam o ambiente interior de um edifício escolar são o conforto térmico (Inverno e Verão) e a qualidade do ar interior, medida por vários parâmetros, nos quais se inclui a concentração de dióxido de carbono

Vasco Peixoto de Freitas

Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

Director do Laboratório de Física das Construções

email@fe.up.pt

Ricardo Almeida

Assistente do Departamento de Engenharia Civil da

Escola Superior de Tecnologia de Viseu

Estudante de Doutoramento na FEUP

email@fe.up.pt

(CO₂). Na prática, um dos problemas mais importantes com que um engenheiro/arquitecto se depara na concepção de um projecto de reabilitação de um edifício escolar prende-se com a escolha dos materiais e tecnologias a utilizar, de forma a garantir a compatibilização entre a eficiência energética, a qualidade do ar interior, o nível de conforto dos ocupantes e os custos. Os edifícios escolares apresentam algumas particularidades em relação aos restantes edifícios, função do seu perfil de ocupação. Num edifício escolar a taxa de ocupação é muito elevada, podendo chegar a quatro vezes mais ocupantes por metro quadrado do que num edifício de escritórios; os ocupantes passam grande parte do seu tempo dentro das salas de aula, valor que só é ultrapassado pelo tempo que passam nas suas habitações. Assim, durante o processo de reabilitação essas características únicas dos edifícios escolares obrigam a ter em atenção os seguintes aspectos [7]:

- elevadas taxas de ocupação implicam ganho térmicos internos muito significativos;
- elevadas taxas de ocupação implicam requisitos mais exigentes de ventilação e consequente qualidade do ar interior;
- melhorar as condições de iluminação, pelo que as fachadas apresentam uma elevada área de envidraçados (frequentemente acima dos 50 %);
- o sombreamento é um aspecto fundamental, devido às elevadas cargas térmicas geradas pela área envidraçada (ganhos solares).

3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

Uma intervenção de reabilitação num edifício escolar, atendendo ao seu custo por m², é considerada uma grande reabilitação e está sujeito aos requisitos do RSECE [4] e ao Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, DL 78/2006 [3].

As condições de conforto térmico de referência do RSECE [4], de acordo com o seu Artigo 4º, são os valores definidos no RCCTE [5], acrescentando apenas que a velocidade do ar interior deve ser inferior a 0,2 m/s e que quaisquer

desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados (situações de desconforto local). Os valores de referência do conforto interior em salas de aula são os seguintes:

- Inverno: Tar = 20°C
- Verão: Tar = 25°C HR = 50%

As exigências regulamentares de qualidade do ar interior em salas de aula são definidas no Artigo 4º do RSECE [4], prevendo o regulamento:

- valor mínimo de renovação do ar por espaço, em função da sua utilização e do tipo de fontes poluentes nele existentes, nomeadamente as derivadas dos materiais de construção aplicados;
- valores máximos das concentrações de algumas substâncias poluentes do ar interior, seja porque estas são reconhecidas como poluentes prioritários, seja porque podem funcionar como indicadores gerais do nível da qualidade do ar interior.

Para as salas de aula exigem-se os seguintes valores limite de ar novo e de concentração de dióxido de carbono:

- valor mínimo de renovação de ar: 30 m³/(h.ocupante)
- valor máximo da concentração de CO₂: 1800 mg/m³ ≈ 1000 ppm

Sem se pretender ser exaustivo na avaliação das exigências em vigor noutros países refere-se o exemplo do Reino Unido onde regulamentação específica sobre ventilação em edifícios escolares, *Building Bulletin 101* [8], recomenda valores substancialmente diferentes para os caudais de ventilação e concentração de dióxido de carbono, como se pode avaliar no Quadro 1. Esta abordagem, mais flexível que a da regulamentação portuguesa, leva os autores a propor uma reflexão sobre o que serão os valores ideais para se obter um adequado desempenho em serviço, tendo em conta que as soluções técnicas necessárias para cumprir um e outro regulamento são economicamente muito diferentes, quer em termos de investimento inicial quer de custos de exploração e manutenção.

4. DESEMPENHO EM SERVIÇO

Com o objectivo de avaliar o desempenho em serviço de salas de aula, quer quanto ao conforto térmico e higratérmico quer quanto à qualidade do ar interior, foram monitorizadas duas salas de aula de quatro escolas. Duas escolas foram objecto de reabilitação recente (designadas neste texto por R1 e R2), embora com diferentes estratégias de actuação, e as outras duas escolas, de diferentes épocas construtivas, mantêm as condições originais (designadas neste texto por NR1 e NR2).

	Concentração de CO ₂ [ppm]	Caudal de ventilação ⁽¹⁾ [m ³ /h]
Portugal	≤ 1000	≥ 750
Reino Unido	≤ 5000 (valor máximo diário) ≤ 1500 (valor médio diário) ≤ 1000 *	≥ 270 (valor mínimo) ≥ 450 (valor médio) ≥ 720 **

⁽¹⁾ admitindo 25 ocupantes
 * obrigatório garantir que em qualquer altura os ocupantes têm a possibilidade de baixar a concentração de CO₂ para 1000 ppm [pode ser obtido através de grelhas adicionais controladas pelo utilizador];
 ** obrigatório garantir que em qualquer altura os ocupantes têm a possibilidade de aumentar o caudal de ventilação para 8 l/(s.ocupante) [pode ser obtido através de grelhas adicionais controladas pelo utilizador];

> Quadro 1: Exigências de CO₂ e caudal de ventilação em salas de aula em Portugal e no Reino Unido.

		NR1		NR2		R1		R2	
		Sala R/C	Sala P1	Sala 27	Sala 14	Sala RC	Sala P1	Sala RC5	Sala RC4
T_{interior}	<i>Média</i>	16,3	15,3	14,1	14,2	18,5	17,9	21,3	21,6
	<i>Desvio Padrão</i>	0,99	1,08	1,08	1,33	1,32	1,22	1,43	1,46
	<i>Máximo</i>	17,9	17,5	17,1	17,1	20,6	19,8	23,6	24,0
	<i>Mínimo</i>	13,3	13,3	11,4	11,0	14,9	14,5	17,1	16,4
T_{exterior}	<i>Média</i>	14,7		11,0		10,2		14,5	
	<i>Desvio Padrão</i>	3,76		2,69		2,24		1,35	
	<i>Máximo</i>	21,0		17,0		13,0		17,0	
	<i>Mínimo</i>	4,0		4,0		4,0		11,0	

> Quadro 2: Análise dos resultados da temperatura nas escolas não reabilitadas e reabilitadas.

		NR1		NR2		R1		R2	
		Sala R/C	Sala P1	Sala 27	Sala 14	Sala RC	Sala P1	Sala RC5	Sala RC4
HR_{interior}	<i>Média</i>	56	55	57	61	46	51	46	47
	<i>Desvio Padrão</i>	3,3	1,8	1,6	6,4	4,2	3,0	3,7	4,1
	<i>Máximo</i>	74	69	67	84	55	67	55	59
	<i>Mínimo</i>	49	50	52	55	38	45	38	37
HR_{exterior}	<i>Média</i>	69		81		78		82	
	<i>Desvio Padrão</i>	15,0		13,5		13,5		9,2	
	<i>Máximo</i>	100		100		100		100	
	<i>Mínimo</i>	40		58		58		63	

> Quadro 3: Análise dos resultados da humidade relativa nas escolas não reabilitadas e reabilitadas.

— Escolas não reabilitadas

A escola *NR1* é uma EB2,3 situada no grande Porto, construída em 1997, do tipo “monobloco” com dois pisos, enquanto a escola *NR2*, também situada no grande Porto, foi inaugurada em Fevereiro de 1993 e é do tipo “compacto”. As escolas foram monitorizadas durante uma semana e não dispõem de sistema de aquecimento nem existem dispositivos de admissão de ar, sendo a ventilação conseguida apenas por abertura das janelas.

— Escolas reabilitadas

A escola *R1* foi construída na década de 80 e sofreu uma intervenção de reabilitação durante o ano de 2008. As salas de aula da escola *R1* estão equipadas com grelhas de admissão de ar nas fachadas e com um sistema mecânico de extracção de ar, com velocidade variável e regulável pelo utilizador até um caudal máximo de 400 m³/h (este caudal não cumpre a regulamentação actual). O edifício da escola *R2* data dos anos 30 e foi reabilitado recentemente. As

salas de aula foram equipadas com grelhas de admissão de ar nas fachadas e equipamentos mecânicos de extracção de ar que permitem um caudal máximo de 600 m³/h. As duas escolas dispõem de sistemas de aquecimento nas salas de aula.

— Análise dos resultados

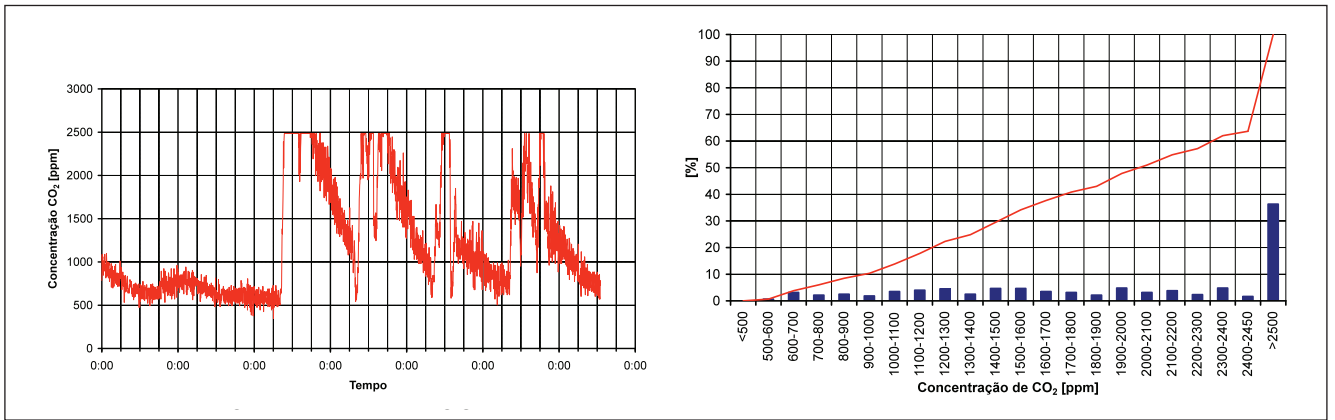
Apresentam-se de seguida os resultados obtidos e sua análise no que se refere à temperatura [Quadro 2], humidade relativa do ar [Quadro 3] e concentração de dióxido de carbono nas salas de aula [Figuras 1 a 4]. Salienta-se que os resultados se referem apenas ao período de ocupação das salas de aula e que o *data logger* utilizado para a monitorização da concentração de dióxido de carbono estava limitado a 2500 ppm. Uma consulta mais detalhada dos resultados pode ser encontrada em [9].

Dos resultados obtidos é possível concluir que a temperatura registada no interior das salas de aula das escolas não reabilitadas não é adequada para garantir condições de

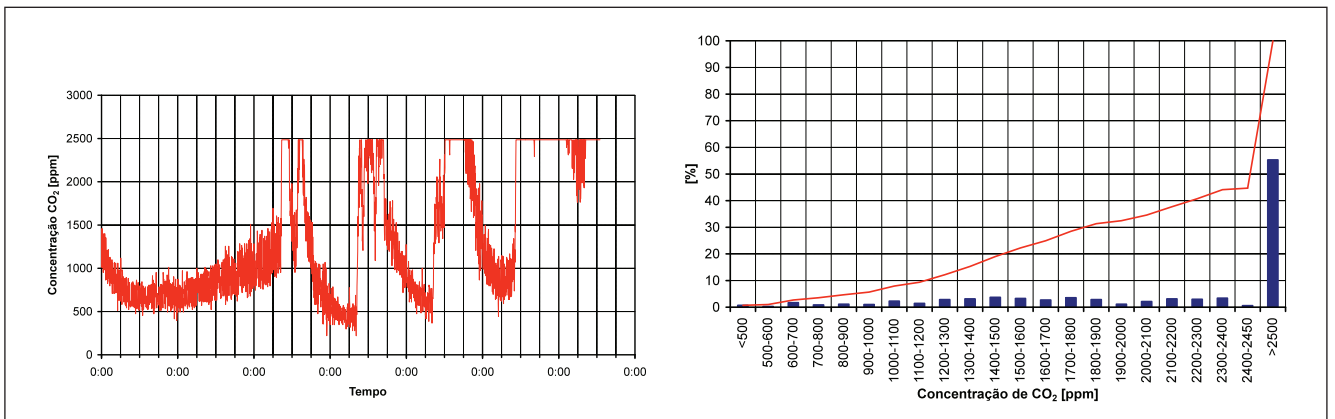
conforto aos seus ocupantes. O valor médio da temperatura no interior é muito próximo do da temperatura exterior. As duas escolas foram monitorizadas na estação de aquecimento, sendo os valores obtidos inferiores aos de referência (o valor regulamentar de conforto nesta estação é de 20°C).

Nas escolas reabilitadas os resultados são substancialmente diferentes. Na escola *R1*, monitorizada na estação de aquecimento, o valor médio da temperatura é próximo dos 18°C. Uma vez que esta escola dispõe de sistema de aquecimento regulável pelo utilizador, este valor parece indicar que os utilizadores se sentem confortáveis com temperaturas inferiores às regulamentares. Salienta-se ainda que a temperatura exterior durante essa semana foi bastante baixa mostrando alguma adaptação dos ocupantes à temperatura interior. Na escola *R2* os valores obtidos estão dentro da zona de conforto.

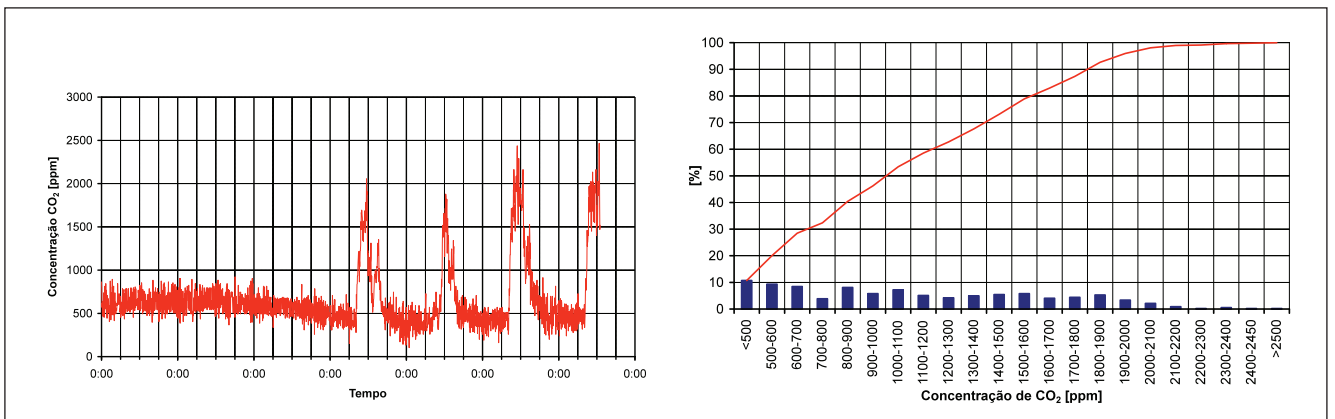
Pode-se afirmar que os valores registados para a humidade relativa do ar, em todas as



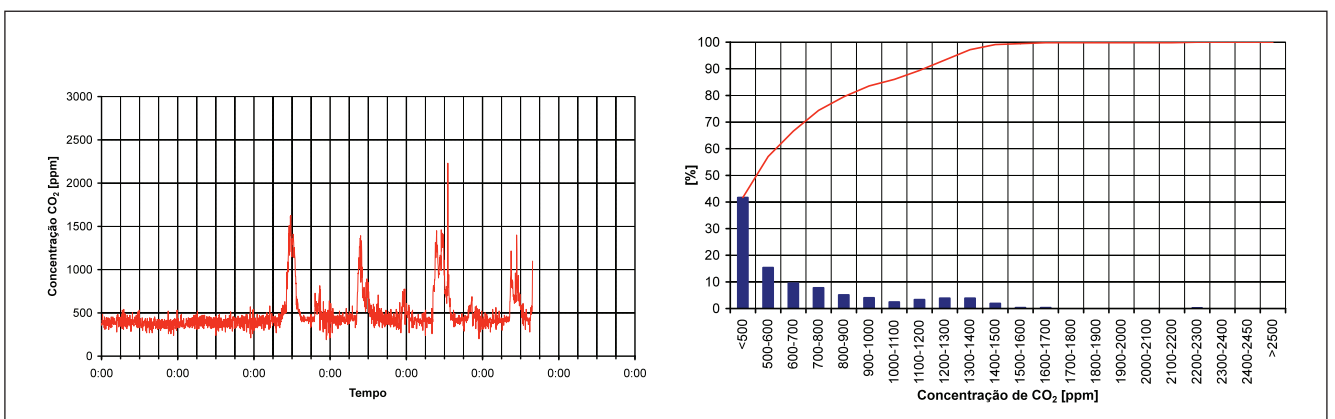
> Figura 1: Concentração de CO₂ numa sala da escola NR1: a) variação semanal; b) distribuição probabilística no período ocupado.



> Figura 2: Concentração de CO₂ numa sala da escola NR2: a) variação semanal; b) distribuição probabilística no período ocupado.



> Figura 3: Concentração de CO₂ numa sala da escola R1: a) variação semanal; b) distribuição probabilística no período ocupado.



> Figura 4: Concentração de CO₂ numa sala da escola R2: a) variação semanal; b) distribuição probabilística no período ocupado.

escolas, são considerados adequados, por se encontrarem dentro de zona de conforto e próximos do valor de referência regulamentar.

— Concentração de dióxido de carbono

Dos resultados obtidos conclui-se que a qualidade do ar interior é um problema nas salas de aula das escolas portuguesas. Nenhuma das escolas monitorizadas apresentou resultados dentro dos limites regulamentares em vigor. As escolas *NR1* e *NR2* apresentam valores de concentração de dióxido de carbono que claramente indiciam um problema de ventilação das salas de aula e consequente má qualidade do ar interior. Nestas escolas foram registados valores de concentração de dióxido de carbono superiores a 2500 ppm em mais de metade do tempo de ocupação das salas de aula. Estas escolas necessitam de uma urgente intervenção que possibilite uma melhoria significativa do seu sistema de ventilação. Actualmente a ventilação destas salas de aula ocorre apenas por abertura das janelas exteriores, situação não habitual na estação de aquecimento. Nas duas escolas reabilitadas os valores foram mais baixos, nas salas da escola *R1* a concentração média de CO₂ durante o período de ocupação foi próxima de 1200 ppm e na escola *R2* foi de 800 ppm (valores considerados regulamentares no Reino Unido). No entanto, salienta-se que em nenhuma das escolas os utilizadores colocaram em funcionamento o sistema mecânico de extracção de ar, situação que não só indicia necessidade de maior flexibilidade dos sistemas de ventilação e das exigências regulamentares, como leva a reflectir sobre a necessidade de um investimento tão avultado nos equipamentos.

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões deste artigo são as seguintes:

1. A medição do desempenho das salas de aula em serviço permite concluir que as escolas não aquecidas e sem sistemas de ventilação adequados não asseguram a temperatura de conforto e ultrapassam claramente as concentrações de CO₂ desejáveis;
2. Uma reabilitação adequada exige uma compatibilização entre eficiência energética, conforto, durabilidade e custos (iniciais e de exploração e manutenção);
3. As exigências regulamentares em Portugal impõem, para uma sala de aula com 25 alunos, caudais mínimos de ar novo de 750 m³/h e concentração de CO₂ inferior a 1000 ppm, bem mais exigente do que no Reino Unido.
4. Embora a Parque Escolar defina valores mais flexíveis para a temperatura interior, nos seus documentos técnicos, exige-se uma reflexão sobre os valores regulamentares de referência;
5. A flexibilidade dos sistemas de ventilação, aquecimento e arrefecimento a implementar é fundamental;
6. A colocação de sistemas de caudais de insuflação e de extracção muito elevados conduz a que o peso da envolvente seja praticamente nulo no desempenho térmico do edifício. A não colocação em funcionamento destes sistemas, caso não exista uma alternativa de ventilação natural, pode conduzir a condições de conforto e qualidade do ar interior muito baixas;
7. Considera-se que é decisivo elaborar estudos técnico-económicos que definam os custos iniciais, de exploração e de manutenção para diferentes soluções de sistemas de ventilação;
8. Na reabilitação de edifícios existentes tem de ser criado um conjunto de recomendações específicas, pois a regulamentação actual, pensada para os novos edifícios, não é adequada e conduz a intervenções demasiado intrusivas;
9. Considera-se que a monitorização em serviço de edifícios escolares reabilitados é da maior importância para validar os sistemas implementados e as condições de utilização, de forma a permitir alterar no futuro as exigências regulamentares.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Ministério da Educação, Gabinete de avaliação educacional, PISA 2006 Competências científicas dos alunos portugueses, 2006.
- [2] Programa de Modernização das Escolas de Ensino Secundário, Resolução do Conselho de Ministros nº 1/2007.
- [3] Decreto-Lei nº 78/2006, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.
- [4] DL nº 79/2006, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.
- [5] DL nº 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Abril, Diário da República, I Série-A, Lisboa, 2006.
- [6] Santamouris M., Papaglastra M., Assimakopoulos N., Sfakianaki K., Pavlou K., Gaitani N. e Mihalakakou G., Energy audit certification and environmental evaluation of school buildings, International Workshop on Energy Performance and Environmental Quality of Buildings, Grécia, 2006.
- [7] U. S. Environmental Protection Agency (EPA), Indoor Air Quality Tools for Schools, IAQ Coordinator's Guide, EPA 402-K-95-001. EPA, Washington, D. C., 1995.
- [8] Building Bulletin 101: Ventilation of School Buildings, Regulations Standards Design Guidance, Version 1.4, ISBN 011-2711642, U.K., 2006;
- [9] Almeida R. e Freitas V.P., Evaluation of the Indoor Environmental Quality in Portuguese Classrooms, in Proceedings of Healthy Buildings 2009, 13 a 17 de Setembro de 2009, Syracuse, USA.

este espaço pode
ser da sua empresa