



Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos: salas de aula

G C Nascimento¹, W D Marra Junior¹, M L Aguiar²

¹Departamento de Hidráulica e Saneamento/Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (guicaetano@gmail.com/wiclef@usp.br)

² Departamento de Engenharia Química/ Centro do Ciências Exatas/ Universidade Federal de São Carlos (mlaguiar@ufscar.br)

Resumo

Salas de aula em um prédio sem sistemas de condicionamento de ar na cidade de São Carlos foram escolhidas para realização do monitoramento da qualidade do ar interno em comparação ao ar exterior. Parâmetros como temperatura, umidade relativa (UR), dióxido de carbono (CO₂), material particulado em suspensão, formaldeído (HCHO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), intensidade luminosa, ruído, taxa de ventilação e ocupação foram monitorados dentro e fora do local. Quanto aos gases potencialmente nocivos à saúde humana (NO₂, O₃ e HCHO), as concentrações estiveram abaixo dos limites considerados. Os valores de temperatura e umidade relativa evidenciaram uma condição de desconforto térmico e ainda esses valores estiveram acima dos padrões recomendados. A taxa de ocupação do local encontra-se acima do limite máximo estabelecido em normas, considerando o tipo de recinto monitorado. A concentração de CO₂ nas salas de aula não ultrapassou os limites padronizados. Os níveis máximos de ruído avaliados excederam os valores máximos recomendados por normas vigentes no Brasil. Como principal recomendação, sugere-se um estudo sobre a aplicação de medidas para adequação dos valores impróprios. Além disso, destaca-se a necessidade de uma avaliação aprofundada da concentração de material biológico em suspensão.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior. Ambientes Internos. Salas de aula

Área Temática: Tema 7 - Poluição Atmosférica.

Abstract

Classrooms with air conditioning system inside a building at the city of São Carlos were selected for the investigation of indoor air quality regarding the outdoor air. Parameters like temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO₂), particulate matter, formaldehyde (HCHO), ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂), luminosity intensity, noise and ventilation and occupation rates were analyzed. The potential harmful gases (NO₂, O₃ and HCHO) were found under the maximum limits considered. The temperature and relative humidity levels present the thermal discomfort condition and these values were over the maximum recommended. The occupation rate was also over the maximum recommended for the local type characterization. The carbon dioxide concentration doesn't exceed the fixed limits. The maximum noise levels exceeded the maximum values. The principal recommendation is a study of alternatives for the adaptation of improper values. Besides this, makes salient the necessity of a circumstantial investigation of suspension biological matter concentration.

Key words: Indoor Air Quality. Indoor Environments. Classrooms.

Theme Area: Theme 7 - Atmospheric Pollution.



1 Introdução

A Qualidade do Ar Interior (QAI) é considerada por muitos pesquisadores uma área de estudos muito recente, com muitos trabalhos sendo desenvolvidos nos últimos quinze anos. A avaliação do grau de poluição do ar em ambientes fechados necessita de diferentes profissionais, englobando, principalmente, microbiologistas, engenheiros, arquitetos, químicos e toxicologistas. Este tipo de poluição está totalmente ligado à saúde e ao bem-estar dos seres humanos, pois a análise dos contaminantes gasosos presentes nos ambientes internos trata-se de um assunto essencial, visto que passamos grande parte dos nossos dias em locais fechados (BRICKUS e AQUINO NETO, 1999).

Vários fatores influenciam a qualidade do ar interior, dentre eles destacam-se as características do ambiente externo, os aspectos construtivos do prédio e a rotina do local, além das atividades exercidas pelos seus frequentadores. O conhecimento das características do ar nesses ambientes é fundamental, pois ele é o meio pelo qual se dá a interação entre clima, prédio e pessoas, e é fator determinante para a saúde e bem-estar dos ocupantes, além de ser peça fundamental para o controle e racionalização da QAI (MEYER, 1983).

A OMS afirma que a poluição do ar de interiores é considerada um dos principais problemas ambientais e de saúde-pública e que os principais alvos desse tipo de problema vivem em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Os efeitos desses contaminantes são prejudiciais aos sistemas respiratório e cardiovascular e isto está relacionado à exposição aos diversos poluentes presentes no ar e ao tempo em que a pessoa ficou em contato com esses compostos (BRUCE *et al.*, 2000).

Todos esses aspectos foram considerados para a elaboração de diversos estudos sobre a qualidade do ar em bibliotecas, salas de aula, escritórios e ambientes semelhantes, pois são locais em que o tempo de permanência da população é elevado e essa situação potencializa o efeito de compostos alergênicos e tóxicos possivelmente encontrados nesses lugares. Como consequência, a poluição do ar interfere no rendimento de alunos, professores e funcionários, além de prejudicar a saúde e o conforto de todos os ocupantes do local (ITO e AGUIAR, 2007; LEE e CHANG, 2000).

Vários pesquisadores em diferentes países do mundo realizaram estudos monitorando as concentrações de determinados compostos, a presença de material particulado em suspensão, os níveis de temperatura, umidade e taxa de ventilação. A comparação dos resultados foi feita com normas nacionais e internacionais, com a finalidade de comparar e avaliar a adequação de determinado local com as respectivas leis (MENDELL e HEATH, 2005; BLONDEAU *et al.*, 2005; BARTLETT, 2004; BRANIS *et al.*, 2005; JANSSEN *et al.*, 1999; SCHEFF *et al.*, 2000; INSTANNES *et al.*, 2005; CHEW *et al.*, 2005).

Torna-se clara a necessidade de investigação desses parâmetros nas salas de aula. No Brasil, a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamentaram normas sobre a qualidade do ar de interiores e, com caráter internacional, há um conjunto de valores estabelecidos por entidades publicado um livro (ABRAVA, 2003; ANVISA, 2003; ABNT; LIDE, 2004).

2 Metodologia

Salas de aulas padronizadas em um prédio localizado na cidade de São Carlos foram escolhidas para a realização das medições. O prédio possui dois pavimentos e as salas situam-se no primeiro, com uma área de 67,5 m² e um volume de 223 m³, abrigando em torno de 45 ocupantes e sem sistemas de condicionamento de ar ou ventilação forçada. A disposição das carteiras na sala e a orientação em relação ao norte são apresentadas na Figura 1. As amostras eram tomadas em dois dias, no período da tarde para o ano de 2007 e em apenas um dia à



tarde no ano de 2008. Como referências, duas salas foram destacadas e denominadas A e B para exposição dos dados. Os detalhes específicos do recinto são exibidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição do local

Área	Área Interna (m ²)	Volume da sala (m ³)	Número médio de ocupantes	Idade do prédio (anos)	Tipo de ventilação
Rural	67,5	223	45	3	Natural

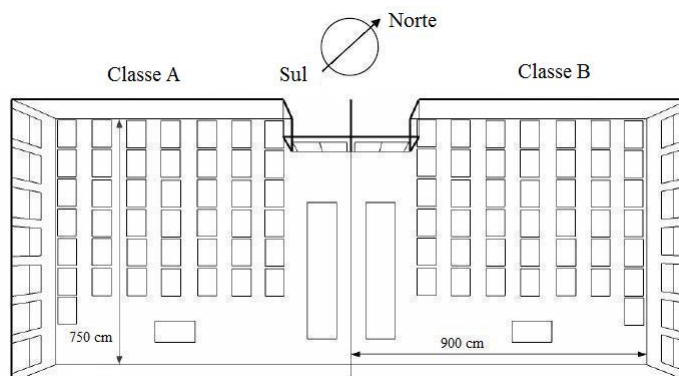


Figura 1 - Posição das carterias, representação e orientação das salas.

A concentração de dióxido de carbono foi verificada com o analisador digital de gases programável da marca RAE Systems, modelo MultiRAE IR – PGM 54, obedecendo as diretrizes da norma em vigor (ABRAVA, 2003). Utilizou-se uma bomba de sucção manual para tubos colorimétricos da marca RAE Systems, modelo LP 1200 e dois conjuntos de tubos da marca RAE Systems para análise de NO₂ (de 0,5 a 30 ppm) e O₃ (de 0,05 a 0,6 ppm). O CMS (Sistema de Monitoramento por Chip) da marca Dräger foi empregado para análise de formaldeído, sendo ele composto por um analisador eletrônico e um chip específico para a substância a ser avaliada. Os valores encontrados foram comparados com referências internacionais (LIDE, 2004). Utilizou-se o termigrômetro digital da marca Rotronic, modelo Hygropalm 0 para coletar dados sobre temperatura e umidade relativa no interior das salas de aula, de acordo com a norma vigente no Brasil (ANVISA, 2003). Empregou-se o decibímetro digital da marca Roline, modelo RO-1350 para as análises referentes ao conforto acústico, de acordo com a norma da ABNT (ABNT[a], 2000). O luxímetro digital da marca dpUnion, modelo DPU-600 foi utilizado para avaliar a intensidade luminosa no interior das salas e as medidas foram baseadas em norma da ABNT (ABNT[c], 1985). Perfis de luminosidade incidente sobre as carteiras foram elaborados a partir da seleção aleatória de carteiras e execução das medidas em diferentes situações, conforme a Figura 2 apresenta (aquelas destacadas em verde foram escolhidas).



Figura 2 - Carteiras selecionadas para o perfil de luminosidade.

Com o auxílio do contador de partículas da marca Met One, modelo AEROCET 531, realizou-se uma quantificação da concentração de material particulado em suspensão nas salas de aula, nas frações $MP_{2,5}$, MP_7 e MP_{10} , além de uma estimativa do material particulado total em suspensão. Para a determinação da taxa de ocupação nas salas de aula, uma relação descrita em uma norma brasileira (ABRVA, 2003) foi adaptada para o ambiente. De acordo com a mesma, a ocupação de um espaço com uma área de $100m^2$ não deve ser superior a 50 pessoas. Já para a determinação da taxa de ocupação, a norma brasileira (ABRVA, 2003) apenas indica um valor mínimo a ser verificado e não apresenta métodos para sua avaliação. Sendo assim, tomou-se como metodologia para obtenção desses valores a técnica descrita por Scheff *et al.*, 2000.

3 Resultados

Durante os meses de agosto de 2007 até junho de 2008, realizou-se o monitoramento da temperatura, umidade relativa e concentração de CO_2 nas salas de aula escolhidas. Uma média dos valores medidos foi obtida para cada dia de amostragem e se construiu um gráfico para avaliação das medidas. A concentração de CO_2 dentro e fora das salas de aula foi aferida de forma pontual. A Figura 3 apresenta um gráfico com os valores de temperatura para a sala A e a Figura 4 mostra os valores de umidade relativa para o mesmo local.

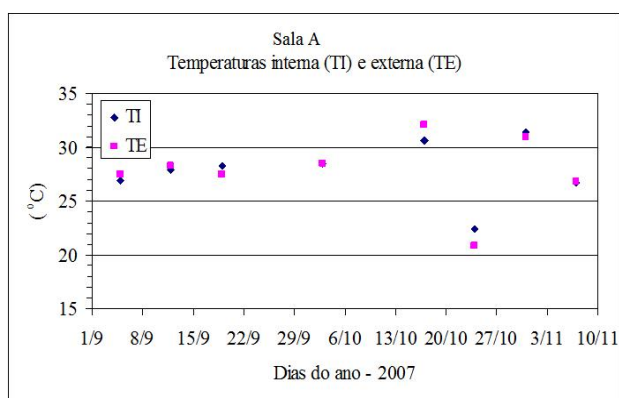


Figura 3 - Temperaturas interna e externa para a sala A

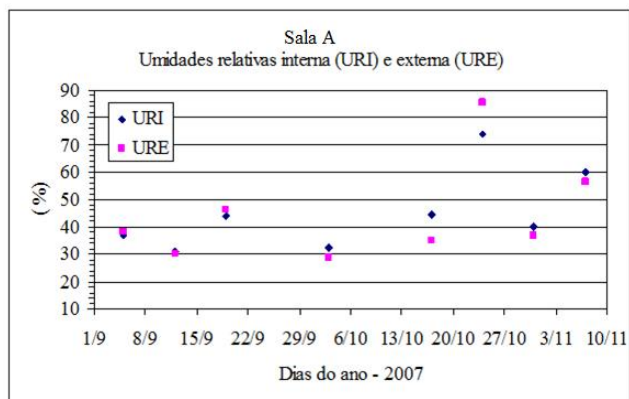


Figura 4 - Umidades interna e externa para a sala A

Ao observar a Figura 3, nota-se uma tendência de proximidade das temperaturas internas e externas, sendo essas últimas, em geral, maiores. Essa tendência foi constatada em todas as medições realizadas e denota o desconforto térmico do local, uma vez que o ideal seria uma variação distinta da temperatura no ambiente interno e externo. A Figura 4 também mostra um quadro semelhante, porém, relacionando a umidade relativa. A diferença entre os valores internos e externos para esta variável manteve-se baixa de forma geral e contribuiu para a caracterização do desconforto na sala em análise. Como as salas do local são semelhantes, o conforto térmico também foi diagnosticado nos outros sítios.

Ainda sobre a Figura 3, a RE/ANVISA nº 9 de 2003 recomenda que a temperatura no ambiente interno para o verão deve estar compreendida na faixa que vai de 23°C a 26°C e, no inverno, de 20°C a 22°C. Salienta-se que as temperaturas obtidas são respectivas às estações de primavera e verão, devido ao período em que foram realizadas as coletas de dados. Portanto, em comparação à norma, a sala apresenta valores inadequados para a temperatura, considerando o período analisado. Porém, vale lembrar que a norma é destinada a ambientes climatizados artificialmente e o local não apresenta tais características.

A Figura 5 traz um gráfico com a concentração de gás carbônico em amostragens pontuais dentro e fora da sala de aula B.

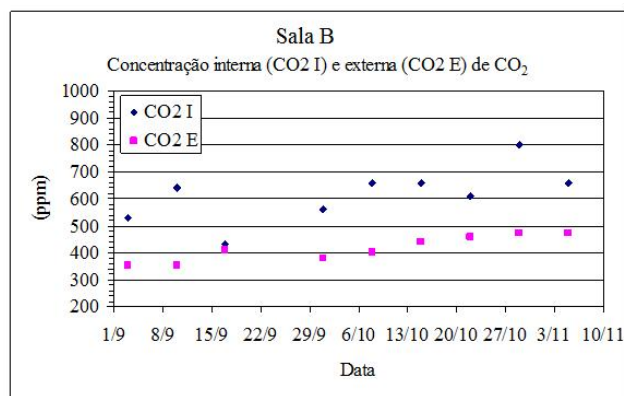


Figura 5 - Concentração de gás carbônico no interior e na porção externa da sala B.

De acordo com duas normas brasileiras, ABRAVA (2003) e ANVISA (2003), são recomendados valores da concentração de CO₂ a serem mantidos em ambientes internos. A norma da ANVISA estipula a concentração máxima de 1000 ppm para ambientes fechados,



enquanto que a ABRAVA recomenda uma diferença de 700 ppm entre a concentração interna e a externa. Sendo assim, a concentração de CO₂ no local encontra-se em um patamar adequado perante a legislação.

O equipamento AEROCET 531 da Met One gerou um perfil da concentração de material particulado em suspensão ao longo do tempo. As Figuras 6 e 7 apresentam os gráficos obtidos para esse parâmetro dentro da sala de aula A, sendo o primeiro relativo às suas frações respiráveis e o segundo ao material particulado total.

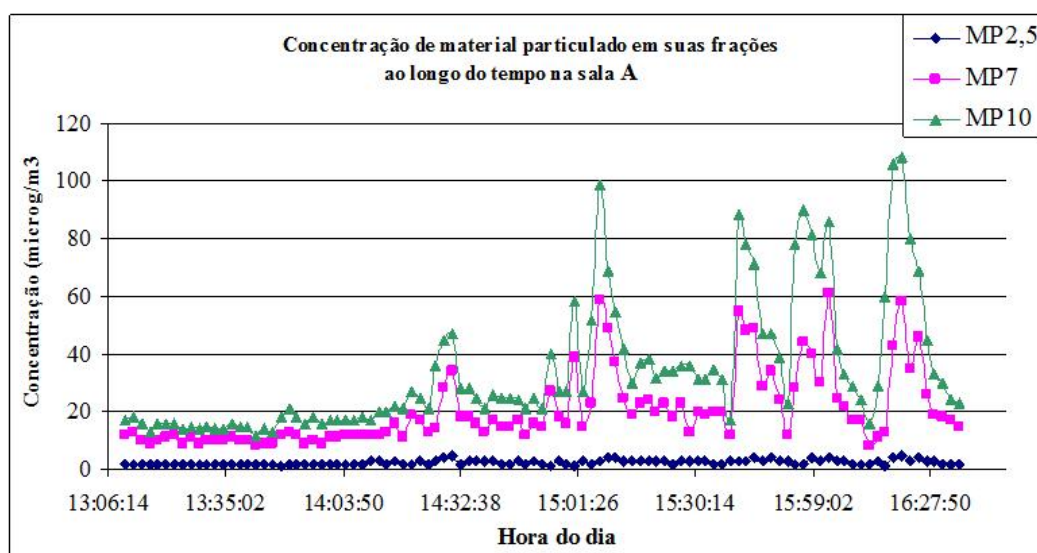


Figura 6 - Perfil de material particulado em suas frações respiráveis na sala A

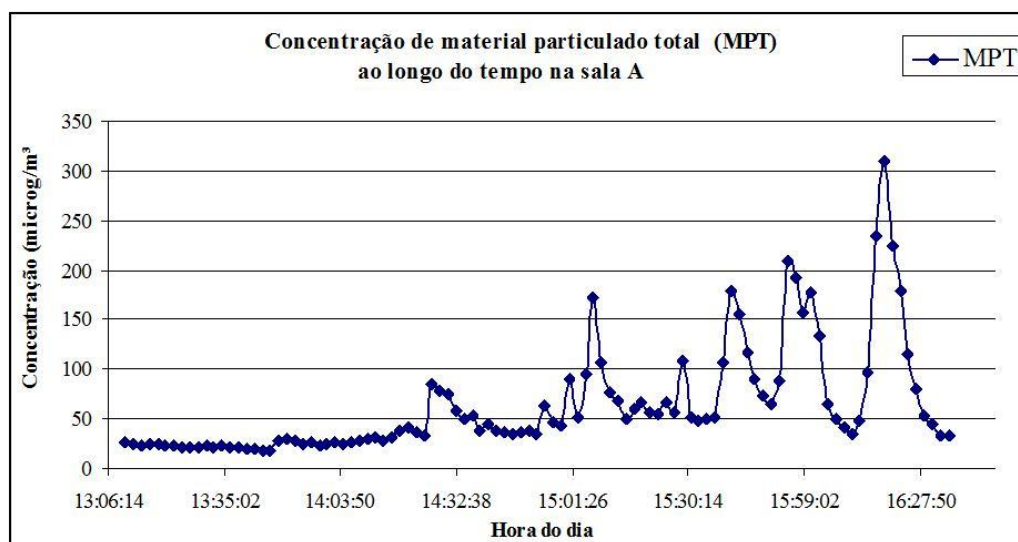


Figura 7 - Perfil de material particulado total em suspensão na sala A

A partir dos perfis, nota-se que a concentração de particulado total e as frações 7 e 10 μm são aproximadamente constantes no intervalo das 13:08 horas às 14:20 horas. Após esse intervalo, as concentrações se elevam e atingem níveis superiores em comparação aos iniciais. Na sala A, a aula teve início por volta das 14:20 horas e concorre com o aumento do particulado em suspensão, uma vez que as atividades realizadas provocam a resuspensão do material depositado, além da produção de novas quantidades desse tipo de material, derivadas



do uso de giz, por exemplo. Os picos demarcam eventos pontuais característicos, como a ação de apagar a lousa, ou até mesmo a aproximação dos alunos ao aparelho para verificar seu funcionamento.

Os perfis de luminosidade incidente sobre as carteiras foram confeccionados para diferentes situações em duas épocas distintas do ano. Foram realizadas medições em abril e em outubro, durante a manhã e à tarde, para as cortinas fechadas e abertas, nas duas salas de aula. As Figuras 8 e 9 apresentam dois perfis para a sala de aula A, no período da manhã, com as cortinas fechadas. Cada carteira é representada por um número e, em destaque, a luminosidade incidente resultante.

43	37	31	25	19	13	7	JANELAS
343						388	
42	36	30	24	18	12	6	
	442				485		
41	35	29	23	17	11	5	
		463		481			
40	34	28	22	16	10	4	
			446				LOUSA
39	33	27	21	15	9	3	
		407		425			
38	32	26	20	14	8	2	
429	444				484		
						1	
						477	

Figura 8 - Perfil de luminosidade na sala A, de manhã com as cortinas fechadas (abril)

43	37	31	25	19	13	7	JANELAS
364						342	
42	36	30	24	18	12	6	
	448				464		
41	35	29	23	17	11	5	
		481		460			
40	34	28	22	16	10	4	
			503				LOUSA
39	33	27	21	15	9	3	
		424		521			
38	32	26	20	14	8	2	
421	437				600		
						1	
						606	

Figura 9 - Perfil de luminosidade na sala A, de manhã com as cortinas fechadas (outubro)

De forma geral, há uma pequena variação dos valores para cada carteira nas datas escolhidas, para as cortinas fechadas. Além disso, tendo-se em base a norma da ABNT, que realiza uma média de medições no interior do ambiente, aparentemente, a sala não apresenta iluminação artificial inadequada. Tal afirmação não pode ser completamente garantida, pois a disposição do sistema de iluminação dentro das salas não condiz com as sugeridas na norma. A iluminância média sugerida pela norma é de 200 a 500 LUX e dentro da sala de aula, em média, esses valores estiveram próximos ao sugerido.

Quanto aos gases analisados, os valores encontrados em referências internacionais



(LIDE, 2004) não foram ultrapassados. Portanto, para os gases destacados anteriormente, as salas de aula apresentam-se adequadas.

O ruído foi comparado com normas vigentes no país (ABNT b, 2000), cuja recomendação para salas de aula é de 40 dB para conforto acústico e de 50 dB como nível sonoro aceitável. As medições foram realizadas com portas e janelas abertas, com a finalidade de avaliar a interferência do ruído externo nas salas de aula. Os resultados das medições variaram na faixa de 50 a 59 dB para a sala A e de 53 a 62 dB para a sala B. Sendo assim, conclui-se que as salas de aula não apresentam isolamento acústico adequado perante a norma. Em situações de níveis elevados de ruído, o fechamento de portas e janelas é capaz de aliviar tal desconforto, porém, com efeitos negativos na taxa de ventilação do local.

Para a verificação da taxa de ocupação nas salas de aula, a norma brasileira da ABRAVA recomenda a ocupação máxima de 50 pessoas para cada 100 m². Nas salas em questão, há uma circulação média de 45 pessoas, incluindo docentes e alunos, e uma área construída de 67,5 m². Sendo assim, o ideal seria uma ocupação máxima aproximada de 34 pessoas e é constatada a inadequação das salas de aula.

A partir da inserção proposital de gás carbônico no local e o monitoramento de sua queda, um perfil foi gerado e com base na formulação proposta, a vazão afluente de ar no recinto foi calculada. A Figura 10 apresenta o perfil de concentração desde o início do monitoramento, com a inserção e queda da concentração do gás para a sala de aula B.

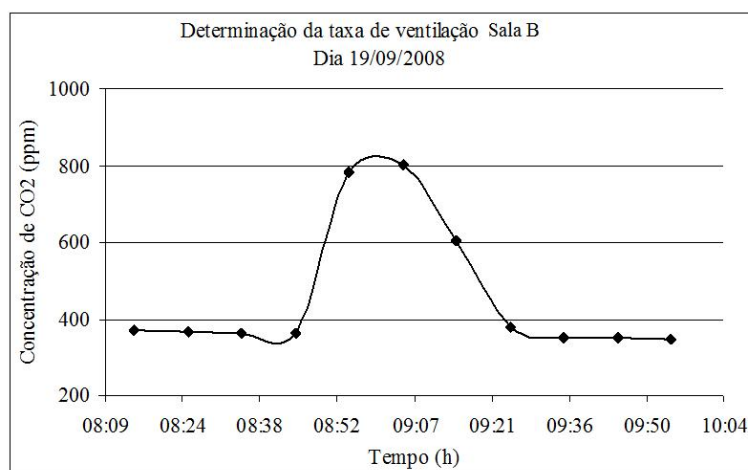


Figura 10 - Perfil de concentração de CO₂ na sala B para o cálculo da taxa de ventilação

A Tabela 2 apresenta as principais variáveis e seus valores para a determinação da taxa de ventilação, para dois dias de análise.

Tabela 2 - Resultados do cálculo da taxa de ventilação

Hora (h:min)	Dia 09/19		Dia 10/17	
	Sala A		Sala B	
	09:05	09:25	09:21	09:31
c _e (ppm)	348		502	
c ₀ (ppm)	802		1556	
c _t (ppm)	379		581	
Q (m ³ /min)	29,98		57,89	
Q (L/s)	500		965	



Tendo em vista a norma brasileira da ABRAVA (2003), a taxa de ventilação recomendada para o número de pessoas é de, no mínimo, 337,5 L/s. A partir dos resultados obtidos, verifica-se que as salas de aula apresentam taxas de ventilação adequadas à norma nos dias em análise.

4 Conclusões

A partir dos resultados abordados, percebe-se que não há graves problemas para os ocupantes do local. Nenhum gás com efeitos deletérios sobre a saúde humana foi detectado e a taxa de ventilação do local é capaz de garantir uma renovação do ar interior, mantendo boas condições de higiene no local.

- Porém, alguns aspectos negativos foram observados nas salas:
- Valores de temperatura acima do recomendado pela norma;
- Situação de desconforto térmico evidenciada pelos ocupantes do local;
- Número de ocupantes excede o recomendado;
- Ruído acima do recomendado com as janelas e portas abertas.

Esses pontos levantados podem influenciar negativamente o rendimento de alunos e professores, já que para um bom desempenho nas aulas, a atenção é condição essencial. Por isso, os problemas de desconforto térmico e o ruído são fatores importantes a serem controlados, uma vez que atingem a capacidade de atenção dos ocupantes do recinto. Para uma otimização do rendimento nas salas, seria ideal a manutenção de níveis adequados de temperatura e ruído.

Como recomendação, sugere-se o estudo aprofundado de medidas para correção desses níveis inadequados. Ainda, outra questão importante é a análise de material biológico em suspensão, já que este é um tema extremamente importante para a saúde dos ocupantes e não pode ser desconsiderado em análises da IAQ.

Referências

- ABNT: a) **Norma NBR 10.151 de 2000**: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento; b) **Norma NBR 10.152 de 2000**: Níveis de ruído para conforto acústico; c) **Norma NBR 5.382 de 1985**: Verificação de iluminância de interiores; d) **Norma NBR 5.413 de 1992**: Iluminância de interiores; São Paulo, SP, Brasil: ABNT.
- ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **RECOMENDAÇÃO NORMATIVA RN 02 - 2003**. Disponível em: <http://www.portalabrava.com.br>
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RESOLUÇÃO - RE/ANVISA Nº9** de 16 de janeiro de 2003. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>
- BARTLETT, K.H.; KENNEDY, S.M.; BRAUER, M.; VAN NETTEN, C.; DILL, B. Evaluation and a Predictive Model of Airborne Fungal Concentrations in Schools Classrooms. **Ann. Occup. Hyg.**, Vol. 48, No. 6, 547-554, 2004.



- BLONDEAU, P.; IORDACHE, V.; POUPARD, O.; GENIN, D.; ALLARD, F. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. **Indoor Air**, 15, 2-12, 2005.
- BRANIS, M.; REZÁCOVÁ, P.; DOMASOVÁ, M. The effect of outdoor and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. **Environmental Research**, 99, 143-149, 2005.
- BRICKUS, L. S. R.; AQUINO NETO, F. R. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, 22(1), 65-74, 1999.
- BRUCE, N.; PEREZ-PADILLA, R.; ALBALAK, R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. **Bulletin of the World Health Organization**, 78 (9), 1078-1092, 2000.
- CHEW, G.L.; CORREA, J.C.; PERZANOWSKI, M.S. Mouse and cockroach allergens in the dust and air in northeastern United States inner-city public high schools. **Indoor Air**, 15, 228-234, 2005.
- INSTANNES, C.; HETLAND, G.; BERNTSEN, S.; LEVIK, M.; NAFSTAD, P. Allergens and endotoxin in settled dust from day-care centers and schools in Oslo, Norway. **Indoor Air**, 15, 356-362, 2005.
- ITO, L. X.; AGUIAR, M. L. Indoor air quality of libraries in São Paulo, Brazil. **Indoor Built Environ**, 16, 1:1-4, 2007.
- JANSSEN, N.A.H.; HOCK, G.; BRUNEKREEF, B.; HARSSEMA, H. Mass concentration and elemental composition of PM₁₀ in classrooms. **Occup. Environ. Med.**, 56, 482-487, 1999.
- LEE, S.C.; GUO, H.; LI, W.M.; CHAN, L.Y. Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong. **Atmospheric Environment**, 36, 1929-1940, 2002.
- LIDE, D. R. **CRC Handbook of Chemistry and Physics: A Ready-reference Book of Chemical and Physical Data**. 87th Ed., CRC Press, 2712 p., 2004. Disponível na página: www.hbcpnetbase.com
- MENDELL, M.J.; HEATH, G.A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor Air**, 15, 27-52, 2005.
- MEYER, B. **Indoor air quality**. 1st Ed. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 434 p, 1983.
- SCHEFF, P.A.; PAULIUS, V.K.; CURTIS, L.; CONROY, L.M. Indoor Air Quality in a Middle School, Part II: Development of Emission Factors for Particulate Matter and Bioaerosols. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, Volume 15 (11); 835-842, 2000.



2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

SCHEFF, P.A.; PAULIUS, V.K.; CURTIS, L.; CONROY, L.M. Indoor Air Quality in a Middle School, Part II: Development of Emission Factors for Particulate Matter and Bioaerosols. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, Volume 15 (11); 835-842, 2000.