

AValiação da Qualidade do Ar Interior em
Ambientes Educacionais

Nicolas Alexandre Fakhoury – nicolasfak@gmail.com

Matheus Duarte Bordini – md.bordini@gmail.com

Marcos de Mattos Pimenta – mmpimenta@uol.com.br

Antonio Luis de Campos Mariani – camposmariani@gmail.com

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, www.poli.usp.br

F2 – Qualidade Ambiental Interna

Resumo. A Qualidade do Ambiente Interior (QAI) é um dos principais fatores que determina a funcionalidade, harmonia, conforto e produtividade em um edifício. Este artigo reúne os aspectos que tangem a QAI em ambientes educacionais. Primeiramente são apresentados estudos, legislações e normas relacionadas a QAI, definindo parâmetros e limites de concentração dos principais poluentes que influenciam em ambientes educacionais. É realizado um estudo para dois laboratórios específicos localizados na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) onde foram realizadas medições iniciais de CO₂ e PM₁₀ para observar através desses parâmetros críticos o comportamento dos laboratórios atualmente. Outrossim, medições para uma sala de aula da EPUSP são apresentadas através da variação da vazão de ar externo. Os resultados e conclusões decorrentes da análise dos dados obtidos são expostos. É, também, apresentada uma proposta de projeto detalhado para a instalação de sistemas especiais de ventilação e ar condicionado para os laboratórios, os quais permitem a realização de experimentos e estudos sobre QAI considerando variações na vazão de ar exterior em estágios de filtragem do ar. O projeto também contempla a instalação de um sistema tipo ciclo economizador visando a redução no uso de energia em períodos em que a entalpia do ar externo estiver menor que a do ar interno.

Palavras-chave: qualidade do ar interior, poluentes em ambientes climatizados, escolas.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o crescimento populacional nos centros urbanos se tornou muito expressivo e, conseqüentemente, acarretou em um aumento considerável das atividades necessárias para atender à população, como o transporte público, as indústrias e obras diversas. Contribuindo com o aumento dessas atividades, as ações negativas do homem como queimadas e devastação de áreas verdes, tornam cada vez mais impuro o ar que nos circunda. Devido a esses fatores e, conseqüente observação do crescimento considerável de diversas fontes de poluentes atmosféricos, um dos objetos de discussões e de estudos que se tornou frequente é a poluição atmosférica.

Os poluentes atmosféricos provocam um grande impacto ambiental nos ecossistemas acarretando em mudanças na qualidade do ar. Essa, por sua vez, reflete diretamente no homem, podendo afetar o conforto, o desempenho em realizações de tarefas, e até mesmo a saúde humana. Sendo assim, uma maior atenção no monitoramento da qualidade do ar se fez necessário, acarretando em várias políticas de controle de emissão de poluentes, e vários estudos acerca desta temática.

No entanto, grande porcentagem do tempo de vida do ser humano é passado em ambientes interiores, sejam eles residências, escolas, escritórios ou outros edifícios. Um estudo realizado mostrou que um habitante urbano passa em média cerca de 87% do seu tempo em ambientes interiores, e 6% em ambientes exteriores, sendo que os outros 7% seriam gastos na transição entre esses dois ambientes, como por exemplo no automóvel (Jenklins *et al.*, 1992).

Estudos recentes demonstraram associações entre a Qualidade do Ambiente Interno, com a saúde e o desempenho de estudantes e funcionários nas escolas. As pesquisas que ligam a pobre Qualidade do Ar Interior à problemas de saúde das crianças e o desempenho acadêmico reduzido, mostram o papel fundamental que o ambiente interior de uma escola exerce no desempenho do aluno. As boas condições físicas da escola e a ventilação do ar exterior adequada podem reduzir a ausência dos alunos em sala e melhorar os resultados obtidos em testes acadêmicos realizados pelos estudantes. É importante incorporar as melhores práticas na implantação de sistemas de tratamento de ar em escolas para torna-las saudáveis e sustentáveis, melhorar sua eficiência energética, como também considerar novas maneiras de construção de escolas. (EPA, 2014).

A Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos incluiu a Qualidade do Ar Interior como um dos cinco maiores riscos para a saúde humana, provavelmente devido ao fato de que o ar interno ao ambiente pode estar de duas à cinco vezes mais poluído do que o ar externo (Haque, 2013).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estudos relacionados a qualidade do ar

Segundo Moraes (2006), as estimativas da OMS mostram que a poluição em ambientes internos podem causar aproximadamente 2,8 milhões de mortes anuais, o que a torna um dos maiores fatores de mortalidade do mundo, causando 5,5% de todas as mortes. Este percentual extremamente alto sustenta a decisão do Banco Mundial em considerar a poluição em ambientes internos um dos quatro problemas ambientais mais cruciais do mundo.

Segundo um estudo realizado por Arruda (2008) em Cubatão, foi verificado que em decorrência da poluição atmosférica, uma elevação da concentração de PM_{10} , em sete dias, de $56,5 \mu g/m^3$ e de O_3 , em cinco dias, de $46,7 \mu g/m^3$, pode estar relacionado a um aumento de 9,6% nas internações hospitalares.

Uma revisão da literatura feita por Daisey, Angell e Apte (2003) sobre a qualidade do ar interior, buscou identificar os problemas de saúde em escolas devido às condições de ventilação interna e os sintomas de alteração na saúde relacionados com os edifícios. Foram coletados dados sobre as taxas de ventilação, CO_2 e outros contaminantes do ar interior. Os dados de ventilação e a concentração de CO_2 obtidos indicam claramente que a ventilação naquelas escolas estava inadequada em muitas salas de aula, podendo resultar em problemas de saúde.

Um estudo realizado por Valente *et al.* (2010) indicou haver exposição diária de crianças a material particulado PM_{10} no interior de salas de aula, em concentrações muito mais elevadas do que no ambiente exterior, em diferentes estações do ano. Variações da concentração, dependendo da época do ano, também foram encontradas, sendo que os valores mais altos foram identificados no verão.

Um estudo em escolas do ensino fundamental da Finlândia foi realizado com o intuito de avaliar a relação entre QAI, a saúde e o desempenho acadêmico de estudantes da sexta série. O objetivo específico deste trabalho foi estudar os sintomas que prevalecem em relação a QAI. Dessa forma, o estudo foi realizado utilizando dados coletados por um questionário de saúde, compreendendo 37 questões. O questionário de saúde foi enviado a todos os alunos da 6ª série em uma amostra de 355 escolas de ensino fundamental. As condições ambientais interiores foram avaliadas com medições da taxa de ventilação e condições térmicas das salas de aula em uma amostra de 56 escolas. No total, 297 escolas do ensino fundamental responderam o questionário de saúde, obtendo um total de 4248 questionários devolvidos (taxa de resposta estimado de 62,6%). Os sintomas mais comuns em relatos de avaliação semanal, durante o semestre foram: fadiga (7,7%), nariz entupido (7,3%), e dor de cabeça (5,5%). Outros sintomas relatados foram chiado, tosse com chiado, e febre acima de $37^\circ C$. Os relatos diários mais frequentes dos fatores que influenciam na QAI das salas de aula foram ruído com 11,0%, e “ar abafado” (usualmente associado a má qualidade do ar interior) com 7,0% das respostas, juntamente com a alta temperatura interior e poeira ou sujeira. As reclamações sobre a QAI foi correlacionada com temperaturas médias elevadas e as taxas de ventilação inadequada nas salas de aula (Turunen *et al.*, 2014).

Outro estudo nas escolas da Sérvia teve como objetivo a investigação da qualidade do ar e a caracterização da concentração de poluição nos ambientes interiores e exteriores das escolas. As medições foram realizadas continuamente no ambiente interno e externo por um período de 10 dias. Foi constatado, em uma sala de aula, que a concentração de material particulado com diâmetro de até $10 \mu m$ (PM_{10}) era maior no ambiente interno que no exterior. Outrossim, o valor médio de formaldeído em todas as salas de aula foi significativamente maior do que o valor recomendado em guias técnicos (Jovanovic *et al.*, 2014).

2.2 Legislação e Parâmetros

No Brasil, as legislações também recomendam valores de alguns parâmetros a serem seguidos tendo como objetivo a QAI. Sendo assim, um bom projeto para espaços climatizados deve garantir que as concentrações dos poluentes não ultrapassem os limites estabelecidos pelas leis e normas vigentes. Estas referências propõe que os ambientes de uso público e/ou coletivo existentes ou a serem construídos devem estar de acordo com as exigências impostas pela Portaria do Ministério da Saúde 3.523 de 1998, complementada pela resolução RE/ANVISA nº9, de 16 de janeiro de 2003.

Os seguintes Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior recomendados por esses documentos são:

- Contaminação microbiológica: o Valor Máximo Recomendável (VMR) para contaminação microbiológica, medida em Unidades Formadoras de Colônias (ufc), deve ser = $750 \text{ ufc}/m^3$, com a relação $I/E = 1,5$ (sendo I a quantidade de fungos no ar interno e E a quantidade de fungos no ar externo);
- Dióxido de Carbono (CO_2): a concentração de CO_2 em ambientes climatizados deve ser sempre = 1000ppm.
- Aerodispersóides: que são partículas sólidas e/ou líquidas que estão suspensas no ar devido às suas pequenas massas e/ou dimensões. O VMR para estas partículas é de $80 \mu g/m^3$.

A norma NBR 16401, parte 3 de 2008 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), discute parâmetros para garantir a QAI em ambientes climatizados, e apresenta dados informativos para valores de concentrações máximas de substâncias que podem ser poluentes em ambientes interiores (Anexo B da NBR16401-3).

- Monóxido de Carbono (CO): durante 8 horas consecutivas, a média ponderada da concentração de CO, em um ambiente climatizado, não deve ultrapassar 9 ppm.

- Formaldeídos (HCHO): durante 8 horas consecutivas, a média ponderada da concentração de formaldeídos, em um ambiente climatizado, não deve ultrapassar 27 ppb.
- Dióxido de Nitrogênio (NO₂): a concentração de NO₂ deve ser sempre inferior a 100 µg/m³.
- Material particulado (PM₁₀): a quantidade de materiais particulados cujos diâmetros sejam menor ou igual a 10 µm deve ser = 50 µg/m³.
- Dióxido de Enxofre (SO₂): a concentração de SO₂ deve ser sempre inferior a 50 µg/m³.
- Ozônio (O₃): durante 8 horas consecutivas, a média ponderada da concentração de ozônio, em um ambiente climatizado, não deve ultrapassar 100 µg/m³.
- Dióxido de carbono (CO₂): a ABNT sugere um VMR de 3500 ppm para o CO₂, e destaca que esta substância não é tóxica, nem nociva à saúde ou ao bem-estar, exceto em concentrações altas.

3. ESTUDO EXPERIMENTAL EM AMBIENTES DE INSTITUIÇÃO DE ENSINO

3.1 Laboratórios e sala de aula em estudo

Os laboratórios específicos (MT06 e MT16) da Escola Politécnica da USP escolhidos para o estudo da QAI estão representados esquematicamente na Fig. 1 abaixo.

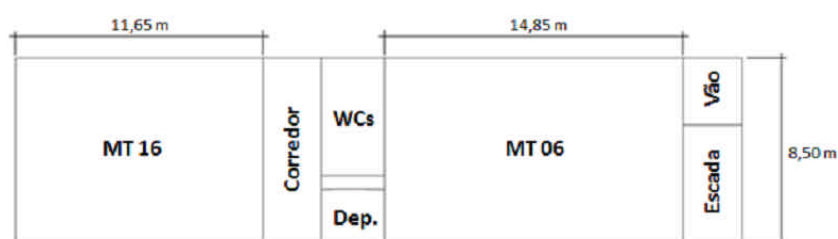


Figura 1. Esquema dos Laboratórios de Estudo.

Inicialmente, decidiu-se em analisar as concentrações de CO₂ e PM₁₀ nos laboratórios MT16 e MT06 os quais seriam uma boa indicação da QAI nestes ambientes, tendo em vista que não existem outras fontes relevantes de poluentes nestes laboratórios. Além de CO₂ e PM₁₀ também foram acompanhadas as características psicrométricas do ar, definidas a partir da temperatura de bulbo seco (TBS) e a umidade relativa (UR) dos ambientes.

O seguinte procedimento experimental foi seguido para o estudo desses parâmetros:

- Tomaram-se medidas a cada 15 minutos do TBS, UR e das concentrações de CO₂ e PM₁₀ no horário em que ocorrem as aulas nos laboratórios.
- As medições são realizadas avaliando o ar no interior dos ambientes e o ar externo.
- A cada medição realizada, toma-se nota de eventos que possam influir sobre o comportamento dos parâmetros controlados.

Já a sala de aula da EPUSP escolhida está representada esquematicamente na Fig. 2. Da mesma forma que os laboratórios, as medições foram realizadas visando as concentrações de CO₂ e PM₁₀. Porém, foi acrescentado a tomada de dados para a concentração de PM_{2,5} sendo todas as medições realizadas a cada 10 minutos. Para a sala de aula A2, a vazão de ar externo era modificada e o ar recebia 2 estágios de filtragem (G4+F5). As janelas da sala eram mantidas fechadas.

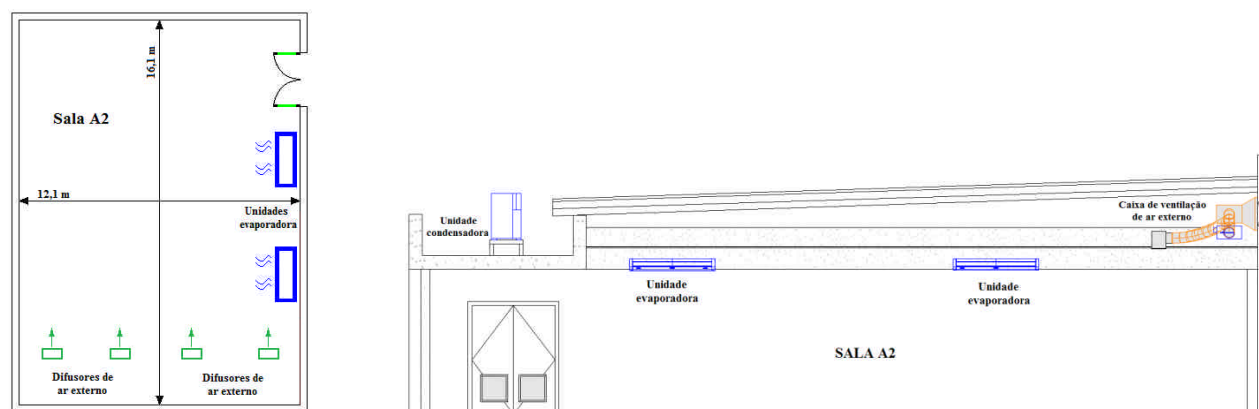


Figura 2. Esquema da sala de aula A2 da EPUSP.

3.2 Aparato experimental

Para a realização das medições, a escolha dos sensores levou em consideração a versatilidade, o tempo de resposta e a exatidão, a repetitividade, tendo em vista que foram obtidas medidas de 4 parâmetros nos ambientes internos e no ambiente externo.

Dessa forma, para medição de CO₂ utilizou-se o sensor infravermelho portátil do fabricante Testo, modelo: 535 que possui exatidão de +/- 3% na faixa esperada (abaixo de 5000ppm), e resposta em tempo real. Para medição de particulado caracterizado como PM₁₀ selecionou-se o sensor portátil de marca Graywolf, modelo PC-3016A que é um contador de partículas que funciona avaliando a dispersão ótica, possuindo limite de medição de [4x10⁶ partículas/pé³] com exatidão de +/- 5%. Para medições da TBS e UR, utilizou-se o sensor infravermelho CEM DT-321S com repetitividade de +/-2% para a UR e +/-0,5°C para a TBS. A Figura 3 apresenta os sensores utilizados.

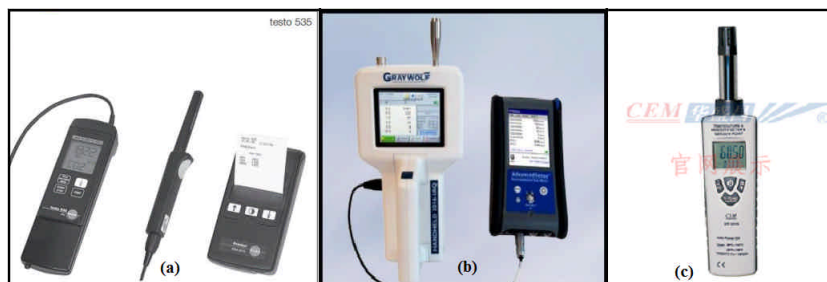


Figura 3. Instrumentos utilizados para as medições: (a) CO₂, (b)PM₁₀, (c)TBS e UR.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

As medições das concentrações de CO₂ e PM₁₀ nos laboratórios MT16 e MT06 foram realizadas em dois dias distintos. O primeiro dia foi 06/10/2015, quando não houve atividades didáticas nos ambientes. O segundo dia foi 29/10/2015, quando ocorreram atividades no laboratório MT06. A escolha de um dia sem atividades no laboratório teve como objetivo avaliar o comportamento da concentração de substâncias para estabelecer uma base de comparação, uma referência, que possibilitasse isolar com maior clareza os efeitos das atividades didáticas de laboratório.

Adotou-se que portas e janelas dos ambientes de laboratórios foram mantidas sempre abertas, considerando que é desta forma que são ministradas as aulas nestes ambientes. Assim, o único fluxo de ar internamente aos ambientes era decorrente da ventilação natural através das portas e janelas. As janelas da sala MT06 podem ser consideradas em número reduzido e pequenas diante das suas dimensões e características.

Para a sala de aula A2, as medições das concentrações de CO₂, PM₁₀ e PM_{2,5} foram realizadas para um dia específico onde atividades teóricas e práticas foram realizadas (21/05/2016). Ressalta-se que a vazão de ar externo era modificada para verificação da influência da mesma nas concentrações de particulados.

4.1 Resultado do laboratório MT16

No laboratório MT16 em si não são realizadas atividades didáticas (apenas atividades de apoio), porém, como existem correntes de ar entre os laboratórios, os efeitos das atividades na sala vizinha podem ser percebidos também neste ambiente, mesmo que de forma mais tênue.

Analisando inicialmente o comportamento do CO₂, verifica-se que nos dois dias as concentrações do poluente no interior do laboratório, basicamente acompanhou a condição do ar externo (vide Fig. 4 e 5 a seguir), o que nos leva a crer que não existem fontes consideráveis do poluente no interior do ambiente e que a ventilação natural através das portas e janelas é eficiente para manter os níveis do CO₂ consideravelmente abaixo dos 1000 ppm indicado pela resolução RE 9 da ANVISA.

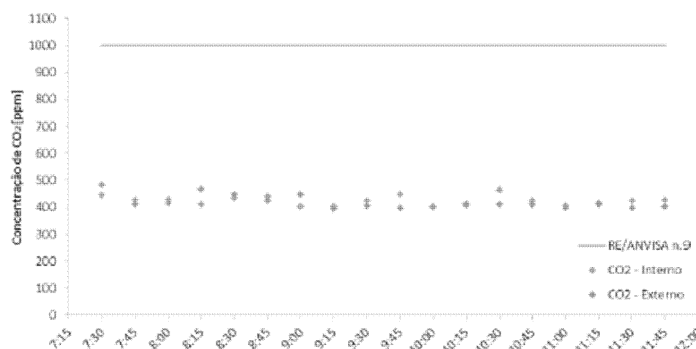
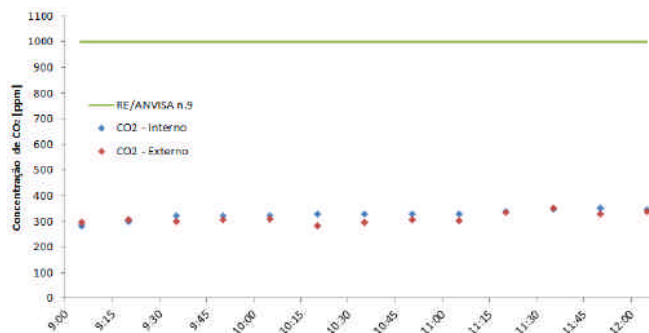
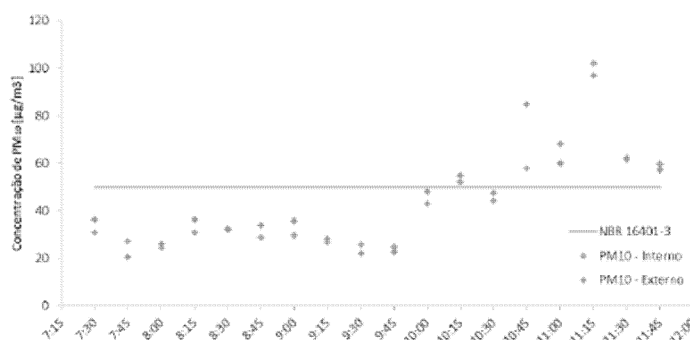
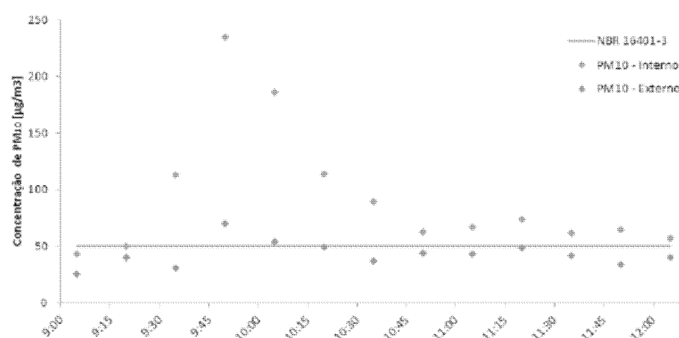


Figura 4. Primeira medição (06/10/2015) de CO₂ na MT16.Figura 5. Segunda medição (29/10/2015) de CO₂ na MT16.

Observando as concentrações de material particulado PM₁₀, nota-se que no dia 06/10/2015 assim como ocorreu com o CO₂, a concentração do poluente no interior do laboratório basicamente coincidiram com as concentrações do ar externo, o que nos leva a concluir que não existiram fontes consideráveis deste poluente no interior do ambiente, porém, a partir das 10:00 horas, a qualidade do ar exterior piora consideravelmente, fazendo com que as concentrações no interior do laboratório ultrapassem o limite de 50 µg/m³ (vide Fig. 6). Agora, em relação à Fig. 7, que se refere às medidas aferidas no dia 29/10/2015, verifica-se que a partir das 9:15 horas as concentrações de material particulado no interior do laboratório se afastam consideravelmente das condições do ar externo, indicando que existe algum processo que leva a quantidade de PM₁₀ em suspensão no interior do ambiente. Constatou-se que este pico foi causado pelos procedimentos de limpeza que ocorreram no laboratório vizinho, e, como já foi mencionado, a QAI do laboratório MT06 influi na QAI do laboratório MT16 e vice-versa, tendo em vista que existe fluxo de ar entre as salas.

Figura 6. Primeira medição (06/10/2015) de PM₁₀ na MT16.Figura 7. Segunda medição (29/10/2015) de PM₁₀ na MT16.

4.2 Resultado do laboratório MT06

Da Fig. 10, que se refere às concentrações de dióxido de carbono do dia 06/10/2015, quando não estavam sendo realizadas atividades no laboratório, verifica-se que as condições do ar no interior da sala se mantêm relativamente próximas às condições do ar externo, e sempre consideravelmente abaixo do limite de 1000 ppm sugeridos pela RE 9 da ANVISA. Porém, a partir das 9:00 horas, 7 computadores foram ligados dentro do laboratório, o que causou um discreto distanciamento das concentrações do interior do laboratório e das concentrações do ar externo.

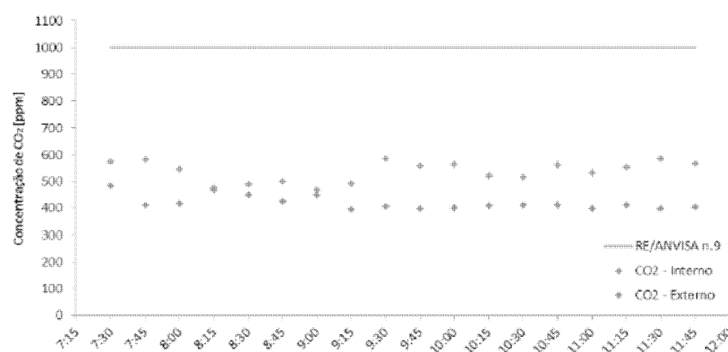


Figura 10. Primeira medição (06/10/2015) de CO₂ na MT06.

Na Fig. 11, referente ao dia 29/10/2015, data em que houve atividades didáticas neste ambiente, os números mostrados em azul acima de cada ponto indicam, respectivamente, o número de pessoas utilizando a sala e o número de computadores sendo utilizados.

Observa-se que mais uma vez em nenhum momento o limite da RE 9 da ANVISA foi alcançado. Porém, observa-se que a medida que a sala foi sendo mais ocupada e mais computadores foram sendo utilizados pelos alunos (observe os pontos das 10:00 horas e das 10:15 horas), maior era a diferença entre as condições do ar interno e do ar externo. Isto já era esperado, tendo em vista que o funcionamento de equipamentos eletrônicos (computadores, por exemplo) acrescenta particulado no ar e a respiração humana é reconhecida fonte de dióxido de carbono.

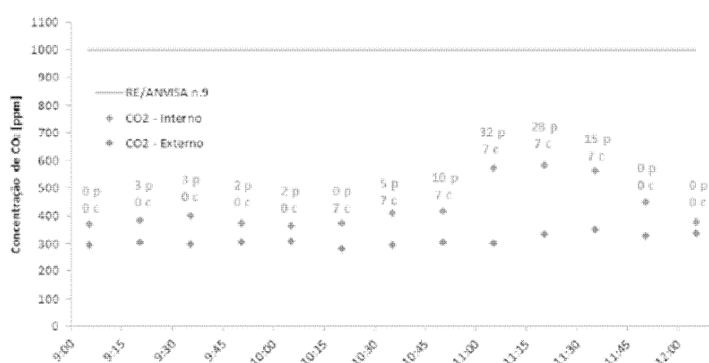


Figura 11. Segunda medição (29/10/2015) de CO₂ na MT06.

Analisando a Fig. 12 a seguir, referente ao dia em que não existiram atividades na sala, nota-se que até as 9:45 horas as condições do ar no interior do laboratório eram praticamente iguais às condições do ar externo e consideravelmente abaixo do limite de 50 µg/m³ estabelecido pela NBR 16401-3, a partir deste momento as condições do ar externo começaram a piorar o que levou às concentrações ultrapassarem o limite da norma. Além disso, entre as 10:45 horas e as 11:00 horas, um aluno da equipe de aeromodelismo da EPUSP movimentou alguns aparelhos no interior do laboratório MT06, o que suspendeu muito material particulado no ar, ocasionando a disparidade observada às 11:00 horas. Nota-se que esta disparidade foi se atenuando a medida que o ambiente foi sendo ventilado.

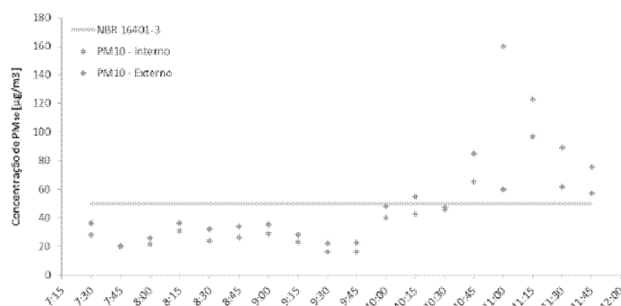


Figura 12. Primeira medição (06/10/2015) de PM₁₀ na MT06.

Observando agora a Fig. 13, referente ao dia com atividades didáticas, verifica-se que, logo no 2º ponto do gráfico, as concentrações de PM₁₀ ultrapassaram em mais do que 50 vezes o limite de 50 µg/m³ estabelecido pela NBR 16401-3, e que este efeito foi se dissipando a medida que o ambiente foi sendo ventilado.

Como já dito anteriormente, este efeito foi causado pelo processo de limpeza do ambiente e que tamanha foi a quantidade de PM_{10} suspenso neste processo, que os efeitos foram sensivelmente percebidos no laboratório vizinho (rever Fig. 7).

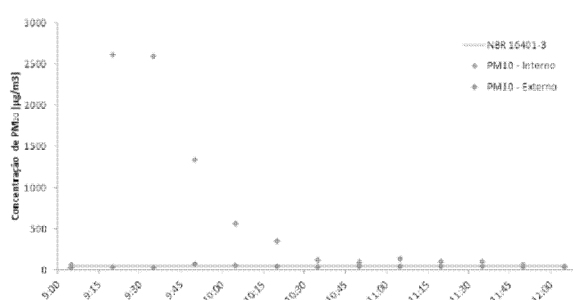


Figura 13. Segunda medição (29/10/2015) de PM_{10} na MT06.

4.3 Resultado para a sala de aula A2

A Fig. 14 apresenta os dados obtidos para a concentração de CO_2 . Nota-se que em nenhum momento a concentração de CO_2 no interior do ambiente ultrapassou os 1000 ppm sugeridos pela resolução da ANVISA. Nota-se o aumento da concentração de CO_2 a partir do momento em que a sala torna-se ocupada, indicando a presença de uma fonte do poluente.

Tendo em vista que quanto maior o metabolismo do indivíduo, maior a quantidade de CO_2 que ele exala, espera-se que ocorra um aumento na concentração de CO_2 quando do desenvolvimento de atividades de usinagem. Na presente medição verifica-se que o aumento da vazão de ar externo foi suficiente para diminuir a concentração de CO_2 no interior da sala mesmo com o desenvolvimento das atividades de usinagem, ou seja, aumento do metabolismo dos ocupantes.

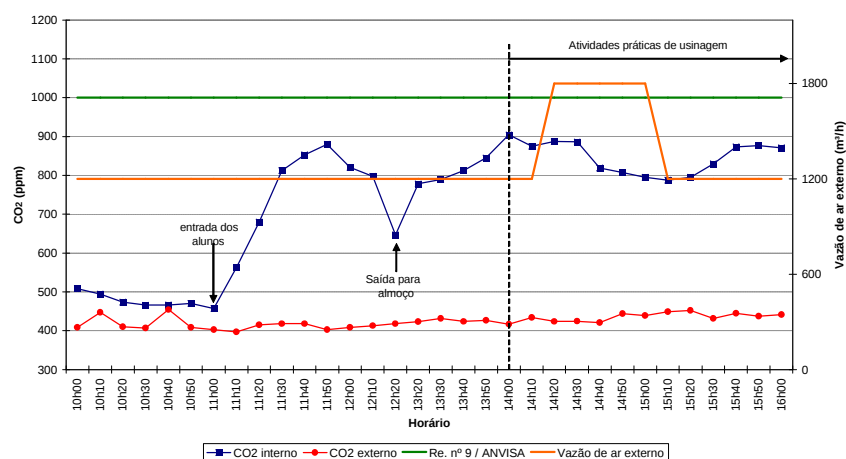


Figura 14. Concentração de CO_2 - Oficina de Brinquedo do Programa Poli Cidadã (21/05/2016).

Para a concentração de particulado PM_{10} (Fig. 15) nota-se que as concentrações estiveram praticamente no limite aceitável de $50 \mu g/m^3$ pela NBR 16401-3 antes das atividades de usinagem. Quando do início das atividades de usinagem, as concentrações de PM_{10} chegaram em quatorze vezes o limite aceitável. Verifica-se que o aumento da vazão de ar externo (de $1200 m^3/h$ para $1800 m^3/h$) foi suficiente para diminuir a concentração de PM_{10} no interior da sala de aula A2, mesmo com as atividades de usinagem sendo mantidas.

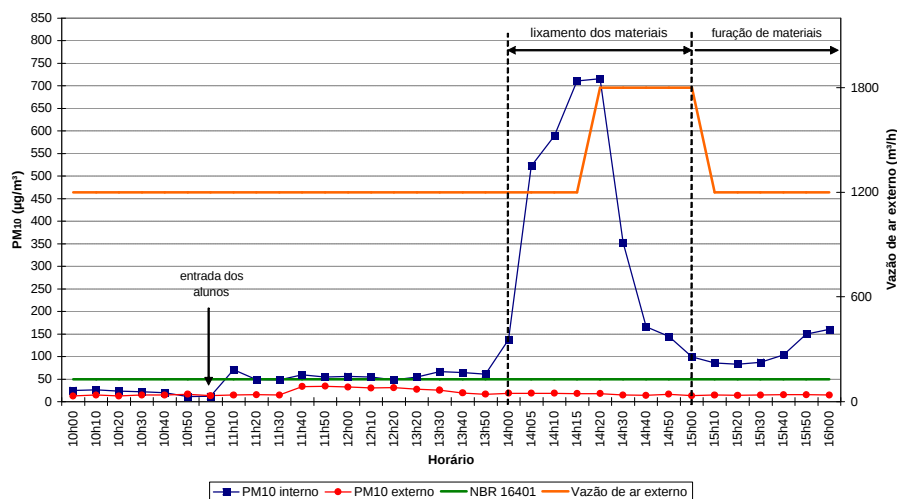


Figura 15. Concentração de PM_{10} - Oficina de Brinquedo do Programa Poli Cidadã (21/05/2016).

Para a concentração de particulado $PM_{2,5}$ (Fig 16), os dados se apresentaram abaixo do limite aceitável de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pela Organização Mundial da Saúde antes das atividades de usinagem. Quando do início das atividades de usinagem, as concentrações de $PM_{2,5}$ chegaram a ultrapassar o limite aceitável. Assim como foi constatado com o PM_{10} , verificou-se que com o aumento da vazão de ar externo (de $1200\text{m}^3/\text{h}$ para $1800\text{m}^3/\text{h}$), as concentrações de $PM_{2,5}$ no interior da sala de aula A2 diminuíram e ficaram abaixo do limite aceitável mesmo com as atividades de usinagem sendo mantidas. Algo importante que se verifica é a influência dos filtros na tomada de ar externo. Pode-se observar que em alguns momentos a concentração de material particulado no interior do ambiente era menor que a do ar externo mesmo com geração interna de particulados.

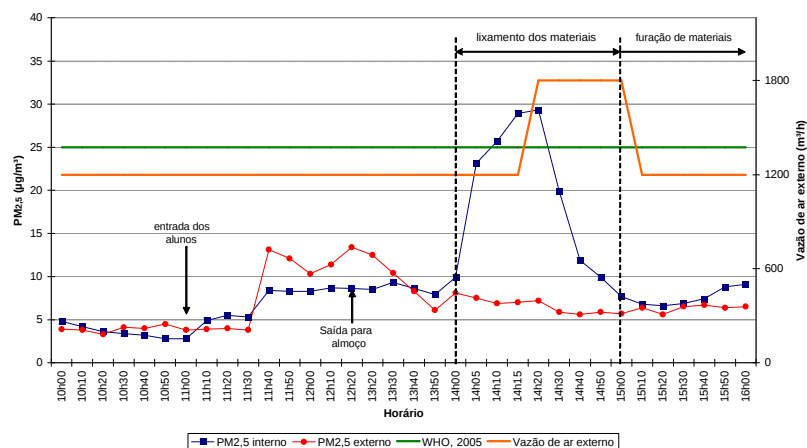


Figura 16. Concentração de $PM_{2,5}$ - Oficina de Brinquedo do Programa Poli Cidadã (21/05/2016)

5. CONCLUSÕES

Dos resultados colocados na seção anterior, deduz-se que nem sempre a ventilação natural através das portas e janelas dos laboratórios foi suficiente para manter a QAI nos ambientes dentro dos padrões especificados pela legislação vigente no país.

Constata-se que o material particulado PM_{10} é o poluente mais crítico para os laboratórios estudados, já que quase sempre as concentrações deste poluente mantiveram-se consideravelmente acima do limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (limite sugerido pela NBR 16401-3), mesmo quando não se realizavam atividades acadêmicas nestes ambientes. No momento mais crítico observou-se uma concentração acima de $2.500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que ultrapassa o valor sugerido por norma em mais do que 50 vezes.

Em um primeiro momento, imaginou-se que as concentrações de material particulado em suspensão estariam diretamente correlacionadas com o número de pessoas utilizando os laboratórios. Verificou-se que esta correlação existe, porém a atividade que estas pessoas praticam influencia de maneira muito mais significativa do que a simples presença delas. Este ponto é reforçado pelos picos das Fig. 12 e 13 que ocorreram quando o laboratório MT06 não era

densamente utilizado, porém as atividades dos ocupantes suspendeu muito mais PM_{10} do que nos momentos em que este ambiente estava bastante ocupado.

Quanto ao dióxido de carbono, constatou-se que (no período estudado) este poluente não ultrapassou o limite de 1.000 ppm estabelecidos pela RE 9 da ANVISA, inclusive, em nenhum momento ultrapassou a barreira dos 650 ppm. Conclui-se então que a ventilação dos ambientes é suficientemente eficaz para manter as concentrações deste poluente dentro de patamares propícios a realização de atividades acadêmicas. Constatou-se também boa correlação entre as concentrações de CO_2 e o número de ocupantes e o funcionamento de computadores nos ambientes, vide Fig. 11.

De modo geral, verificou-se a existência de uma forte correlação das concentrações dos poluentes nos laboratórios e a concentração destes no ar exterior. A norma da ABNT NBR 16401, quando estabelece critérios para ventilação de ambientes climatizados não leva em consideração a qualidade do ar no exterior deste ambiente, acredita-se que uma norma que levasse em conta este aspecto tenderia a ser mais eficaz na garantia da QAI.

Já para as medições da sala de aula A2, verifica-se que o aumento da vazão de ar externo (de 1200m³/h para 1800m³/h) foi suficiente para diminuir a concentração de PM_{10} e de $PM_{2,5}$ abaixo ou próximo do limite aceitável pelas normas, mesmo com as atividades de usinagem sendo mantidas (Fig. 15 e 16). Para o CO_2 verifica-se que o aumento da vazão de ar externo foi suficiente para diminuir a concentração de CO_2 no interior da sala mesmo com o desenvolvimento das atividades de usinagem, ou seja, aumento do metabolismo dos ocupantes (Fig. 14).

Para a sala de aula A2, de modo geral, verificou-se uma boa correlação na influência do aumento da vazão de ar externo previamente tratado na supressão do material particulado contaminante.

Um ambiente educacional com QAI deficiente implica em um processo de aprendizagem deficiente. Sendo assim, a proposta de projeto apresentada à seguir procura levar em conta os dados obtidos nas medições e ajudar as legislações com diferentes medições de QAI variando tanto a vazão, como os estágios de filtragem de ar externo.

6. PROPOSTA PARA SISTEMA DE TRATAMENTO DE AR PARA AVALIAR QAI EM LABORATÓRIOS

Para os laboratórios em estudo, propõe-se instalar dois sistemas de tratamento de ar especiais os quais permitirão a realização de experimentos e estudos sobre QAI, considerando variações na vazão de ar exterior em estágios de filtragem do ar, fornecendo aos usuários conforto, ar externo e filtragem para controle de contaminantes.

A Fig. 17 apresenta uma vista da casa de máquinas de um dos laboratórios com o sistema de tratamento de ar.

Esta proposta de projeto, através de variação de estágios de filtragem e da vazão de ar externo, visa obter resultados para auxiliar na revisão das normas ABNT NBR 16401 / 16101 possibilitando uma melhor escolha dos estágios de filtragem a serem utilizados para diversos sistemas e ambientes visando a qualidade do ar.

A proposta também contempla a instalação de um sistema tipo ciclo economizador visando a redução no uso de energia em períodos em que a entalpia do ar externo estiver menor que a do ar interno.

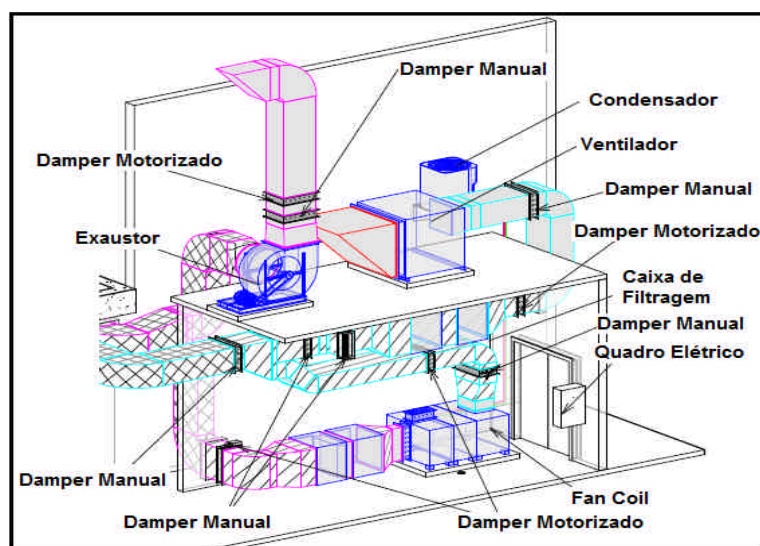


Figura 27. Vista da proposta da casa de máquinas do sistema de tratamento de ar.

Agradecimentos

Agradecemos às empresas **CONFORLAB Engenharia Ambiental** e **Vectus Importatum** pelo apoio prestado a esta pesquisa, especialmente colaborando com instrumentação para realização de medições nos locais investigados.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008, NBR 16401: “Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários.”, Brasil.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, NBR 16101: “Filtros para partículas em suspensão no ar. Determinação da eficiência para filtros grossos, médios e finos.”, Brasil.
- Arruda, R. J., 2008, “Análise da associação entre poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças, adolescentes e idosos na cidade de Cubatão entre 1997 e 2004.”, Dissertação (Mestrado), Universidade Católica de Santos, Departamento de Meio Ambiente e Saúde, Santos.
- BRASIL. Portaria nº 3.523 de 28 de Agosto de 1998, “Dispõe sobre como minimizar o risco potencial à saúde dos usuários, em face da permanência prolongada em ambientes dotados de sistemas de ar condicionado, e dá outras providências.”, Ministério da Saúde – MS.
- BRASIL. Resolução – nº 9 de 16 de janeiro de 2003, “Dispõe sobre os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo, e dá outras providências.”, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA.
- Daisey, J. M.; Angell, W. J.; Apte, M. G., 2003, “Indoor Air Quality, Ventilation and Health Symptoms in Schools: an analysis of existing information.”, *Indoor Air*, Denmark, 13, p. 53-64.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2014, “Energy Savings Plus Health: Indoor Air Quality Guidelines for School Building Upgrades. Indoor Air Quality.”, United States, October.
- Haque, R.; Shakil, A.; Akhter, S., 1992, “Monitoring of particulate matter in different locations and improvement of indoor air quality in Rajshahi City of Bangladesh.”, *Global Journal of Researches in Engineering*. Bangladesh, v.13.
- Jenklins, P. L.; Phillips, T. J.; Mulberg, J. M.; Hui, S. P., 1992, “Activity patterns of Californians: use of proximity to indoor pollutant sources. *Atmospheric Environ.*”, 26A, p. 291-297.
- Jovanovic, M.; Vucicevic, B.; Turanjanin, V.; Zivkovic, M., 2014, “Investigation of indoor and outdoor air quality of the classrooms at a school in Serbia.”, *Energy*, 77, p. 42-48.
- Moraes, A. P., 2006, “Qualidade do Ar Interno com ênfase na Concentração de Aerodispersóides nos Edifícios.”, Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Valente, J., Borrego, C., Lopes, M., Miranda, A. I., Nunes, T., Ferreira, J., Cascão, P., Amorim, J. H.; Costa, A. M., 2010, “Contribution of school indoor concentrations to total PM exposure in Children. Particulate matter: Research and management.”, ISBN.
- Turunen, M.; Toyinbo, O.; Putus, T.; Nevalainen, A.; Shaughnessy, R.; Haverinen-Shaughnessy, U., 2014, “Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students.”, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 217, p. 733-739.

EVALUATION OF INDOOR AIR QUALITY IN EDUCATIONAL BUILDINGS

Abstract. *The Indoor Environmental Quality (IEQ) is one of the main factors that determines the functionality, harmony, comfort and productivity in a building. This article brings the aspects that concern the IEQ in educational environments. First are presented studies, laws and standards related to IEQ, setting parameters and concentration limits of the main pollutants that influence educational environments. It is a study for two specific laboratories located at the Polytechnic School of the University of São Paulo (EPUSP) where initial measurements of CO₂ and PM₁₀ were made, to look through these critical parameters the behavior of currently laboratories. Furthermore, measurements for a classroom in EPUSP are presented by varying the external air. The findings and conclusions resulting from the analysis of the data obtained are exposed. Next is presented a proposal for a detailed design for the installation of special ventilation and air conditioning systems for laboratories, which allow performing experiments and studies on IEQ considering variations in the flow of outside air and air filter stages. The project also includes the installation of an economizer cycle type system aimed at reducing the use of energy in periods when the enthalpy of the outside air is lower than the indoor air.*

Key words: *indoor air quality, pollutants in air conditioned environments, schools.*