

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Estudo de qualidade de ar em instituições de
ensino**

Fernando Dal Pogeto

São Paulo

2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Estudo de qualidade de ar em instituições de
ensino**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
disciplina PME 2600 – Projeto Integrado III do
Departamento de Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Aluno: Fernando Dal Pogeto

Orientador: Prof. Dr. Antonio Luís de
Campos Mariani

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo

2017

Catálogo-na-publicação

Pogeto, Fernando Dal

Estudo de qualidade de ar em instituições de ensino / F. D. Pogeto -- São Paulo, 2017.

77 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica

1.Qualidade do ar 2.Ar condicionado 3.Ventilação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica

II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família pelo suporte incondicional em todos os momentos da minha graduação e por me incentivarem a estudar.

Ao Professor Doutor Antonio Luís de Campos Mariani por toda a paciência, todos os ensinamentos e todas as parcerias nos projetos da poli cidadã.

Aos Professores Doutores Alberto Hernandes Neto e Marcos Pimenta por aceitarem compor a banca avaliadora deste trabalho e por todas as críticas feitas que ajudaram muito na evolução do projeto

Aos Professores Doutores Celso Furukawa e Sílvio de Oliveira Junior por me autorizarem a fazer medições durante suas aulas.

À Giovanna Cabral Cazali por todo o carinho e compreensão.

Ao Mateus José Hokari Couto pela ajuda na coleta de dados experimentais.

E à empresa Conforlab e ao Laboratório de Mecânica dos Fluidos pelo empréstimo de equipamentos de medições, imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Com o passar do tempo a necessidade de cuidar da qualidade do ar interior (QAI), ficou evidente, tanto para evitar a transmissão de doenças e a manifestação de irritações quanto para o melhorar o conforto e, portanto, aumentar a produtividade.

Para atingir a QAI desejada, há uma série de fatores que devem ser controlados, com o objetivo de regulamentar esses fatores, uma série de normas foram escritas.

Neste trabalho, há uma revisão das normas brasileiras para a QAI, explicitando os fatores que influenciam e quais são as características que um projeto deve ter para cumprir as exigências da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária).

Com o objetivo de analisar a qualidade do ar interior das salas do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e definir uma relação entre a vazão de ar externo e a taxa de redução da concentração de contaminantes, foram realizadas medições durante aulas teóricas e atividades práticas.

Da análise das medições e da comparação de resultados com o estudo realizado por Farkhoury (2017) - ESTUDO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM AMBIENTES, concluiu-se que o aumento da vazão de ar externo, quando devidamente tratado, leva a uma queda na concentração dos contaminantes do ar interior. Observou-se também que nem sempre o uso de uma taxa de renovação de ar de 27 m³/h por pessoa dentro do ambiente, sugerida pela ANVISA, é suficiente para manter os poluentes dentro dos limites.

Palavras-chave: Qualidade do Ar; poluição do ar; ventilação e ar condicionado.

ABSTRACT

Over time the need to take care of indoor air quality (IAQ) has been evident, both to prevent the transmission of diseases and the manifestation of irritations as well as to improve comfort and therefore increase productivity.

To achieve the desired IAQ, there are a number of factors that must be controlled, in order to regulate these factors, a number of standards have been written.

In this work, there is a revision of the Brazilian norms for the IAQ, explaining the factors that influence and what are the characteristics that a project must have to fulfill the requirements of ANVISA (National Agency of Sanitary Surveillance).

With the objective of analyzing the indoor air quality of the rooms of the Department of Mechanical Engineering of the Polytechnic School of the University of São Paulo and defining a relation between the external air flow and the rate of reduction of the concentration of contaminants, theoretical and practical activities.

From the analysis of the measurements and the comparison of results with the study done by Farkhoury (2017) - STUDY OF THE QUALITY OF INTERIOR AIR IN ENVIRONMENTS, it was concluded that the increase of the external air flow, when properly treated, leads to a drop-in concentration of indoor air contaminants. It was also observed that the use of an air renewal rate of $27 \text{ m}^3 / \text{h}$ per person in the environment, suggested by ANVISA, is not always sufficient to keep the pollutants within limits.

Keywords: Air Quality; air pollution; ventilation and air conditioning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do sistema de ar condicionado e ventilação da sala A2.....	17
Figura 2 - Contador de partículas utilizado nas medições.	19
Figura 3 - Medidor de CO ₂ utilizado nas medições.	20
Figura 4 - Termo higrômetro utilizado nas medições.	21
Figura 5 – Local de medição interno durante atividade prática.	22
Figura 6 - Ponto de medição externo.	23
Figura 7 - Concentração de CO ₂ na oficina de brinquedos (10/06/2017).	25
Figura 8 - Concentração de PM ₁₀ na oficina de brinquedos (10/06/2017).	26
Figura 9 - Concentração de PM _{2,5} na oficina de brinquedos (10/06/2017).	27
Figura 10 - Distribuição da temperatura de bulbo seco na oficina de brinquedos (10/06/2017).	28
Figura 11 - Distribuição da umidade relativa na oficina de brinquedos (10/06/2017).	29
Figura 12 - Concentração de CO ₂ no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).	30
Figura 13 - Concentração de CO ₂ no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).	31
Figura 14 - Concentração de PM ₁₀ no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).	31
Figura 15 - Concentração de PM ₁₀ no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).	32
Figura 16 - Concentração de PM _{2,5} no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).	33
Figura 17 - Concentração de PM _{2,5} no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).	33
Figura 18 - Distribuição da temperatura de bulbo seco no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).	34
Figura 19 - Distribuição da temperatura de bulbo seco no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).	35
Figura 20 - Distribuição da umidade relativa no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).	35

Figura 21 - Distribuição da umidade relativa no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).	36
Figura 22 - Concentração de CO ₂ na aula do dia 11 de setembro.....	37
Figura 23 - Concentração de PM ₁₀ na aula do dia 11 de setembro.	38
Figura 24 - Concentração de PM _{2,5} na aula do dia 11 de setembro.	39
Figura 25 - Distribuição de temperatura na aula do dia 11 de setembro.....	40
Figura 26 - Distribuição da umidade relativa na aula do dia 11 de setembro.....	41
Figura 27 - Concentração de CO ₂ na aula do dia 20 de outubro.	42
Figura 28 - Concentração de PM ₁₀ na aula do dia 20 de outubro.	43
Figura 29 - Concentração de PM _{2,5} na aula do dia 20 de outubro.....	44
Figura 30 - Distribuição de temperatura na aula do dia 20 de outubro.....	45
Figura 31 - Distribuição de umidade relativa na aula do dia 20 de outubro.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação	11
Tabela 2 - Eficiência da distribuição de ar na zona de ventilação	12
Tabela 3 - Eficiência da distribuição de ar nas zonas de ventilação	13
Tabela 4 - Classificação de filtros de partículas de acordo com a NBR 16401-3:2008	13
Tabela 5 - Concentrações limites de poluentes	14
Tabela 6 - Valores máximos de parâmetros para qualidade do ar interno segundo a Resolução - RE 09.....	16
Tabela 7 - Características do medidor de particulado.....	19
Tabela 8 – Características do medidor de CO ₂	20
Tabela 9 - Características do termo higrômetro utilizado nas medições.	21
Tabela 10 - Modelo de tabela utilizada na coleta de dados.....	23
Tabela 11 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (10/06/2017).	24
Tabela 12 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (21/10/2017).	30
Tabela 13 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (22/10/2017).	30
Tabela 14 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (11/09/2017).	37
Tabela 15 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (20/10/2017).	41
Tabela 16 - Resultados do questionário.	49
Tabela 17 - Condições da sala no ponto de máxima concentração de CO ₂	51
Tabela 18 - Condições da sala 15 minutos após o ponto de máxima concentração de CO ₂	52
Tabela 19 – Comparação entre a concentração de CO ₂ no momento antes do aumento da vazão de ar externo e uma hora depois.....	52
Tabela 20 - Comparação entre a concentração de particulado no momento antes do aumento da vazão de ar externo e uma hora depois.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

OMS – Organização Mundial da Saúde

ppb – Parte Por Bilhão (em volume)

ppm – Parte Por Milhão (em volume)

QAE – Qualidade do Ar Exterior

QAI – Qualidade do Ar Interior

SMACNA – Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association

UR – Umidade Relativa

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1. Definição da Qualidade do Ar Interior	8
3.1.1. Parâmetros que influenciam a QAI	8
3.1.1.1. Fatores físicos	8
3.1.1.2. Fatores químicos	9
3.1.1.3. Fatores biológicos	10
3.2. Norma brasileira sobre QAI	10
3.2.1. Vazões de ar externo	10
3.2.1.1. Vazões mínimas de ar externo para ventilação	10
3.2.1.2. Vazão a ser suprida na zona de ventilação	11
3.2.1.3. Vazão de ar exterior a ser suprida pelo sistema	12
3.2.2. Filtros	13
3.2.3. Requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos à QAI	14
3.3. Manual REHVA Filtragem de Ar nos Sistemas de AVAC	15
3.4. Manual REHVA sobre Projeto de sistemas de ventilação e ar condicionado energeticamente eficientes	15
3.5. Resolução – RE N° 9 de 2003 da ANVISA	15
3.6. Estudo da Qualidade do Ar Interior num edifício departamental da Universidade de Coimbra	16
4. METODOLOGIA	17

4.1.	Descrição do sistema de AVAC	17
4.1.1.	Ar condicionado e aquecimento	17
4.1.2.	Ventilação	17
4.2.	Definição dos parâmetros a serem medidos	18
4.2.1.	Temperatura de bulbo seco do ambiente externo e interno	18
4.2.2.	Umidade relativa do ar externo e interno.....	18
4.2.3.	Concentrações externa e interna de CO ₂	18
4.2.4.	Concentrações externa e interna de CO	18
4.2.5.	Quantidade de particulado no ambiente externo e interno	18
4.2.6.	Níveis de ruído.....	18
4.3.	Instrumentação	19
4.3.1.	Contador de partículas	19
4.3.2.	Medidor de CO ₂	20
4.3.3.	Termo higrômetro	21
4.4.	Procedimento experimental.....	21
5.	RESULTADOS DE MEDIÇÕES	24
5.1.	Atividades práticas	24
5.1.1.	Oficina de brinquedos (10/06/2017).....	24
5.1.1.1.	Concentração de CO ₂	25
5.1.1.2.	Concentração de PM ₁₀	26
5.1.1.3.	Concentração de PM _{2,5}	27
5.1.1.4.	Temperatura de Bulbo Seco	28
5.1.1.5.	Umidade Relativa.....	29
5.1.2.	Oficina de carrinhos de rolimã (21 e 22/10/2017).....	29
5.1.2.1.	Concentração de CO ₂	30
5.1.2.2.	Concentração de PM ₁₀	31

5.1.2.3.	Concentração de PM _{2,5}	33
5.1.2.4.	Temperatura de Bulbo Seco	34
5.1.2.5.	Umidade Relativa.....	35
5.2.	Aulas teóricas	36
5.2.1.	Aula de Termodinâmica II (11/09/2017)	36
5.2.1.1.	Concentração de CO ₂	37
5.2.1.2.	Concentração de PM ₁₀	38
5.2.1.3.	Concentração de PM _{2,5}	39
5.2.1.4.	Temperatura de Bulbo Seco	40
5.2.1.5.	Umidade Relativa.....	41
5.2.2.	Aula de Eletrônica Analógica e Digital (20/10/2017)	41
5.2.2.1.	Concentração de CO ₂	42
5.2.2.2.	Concentração de PM ₁₀	43
5.2.2.3.	Concentração de PM _{2,5}	44
5.2.2.4.	Temperatura de Bulbo Seco	45
5.2.2.5.	Umidade Relativa.....	46
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES	47
6.1.	Análise objetiva da QAI	47
6.1.1.	Vazão de ar externo	47
6.1.2.	Número de pessoas	47
6.1.3.	Atividade realizada na sala	48
6.1.4.	Concentração de contaminantes no ar externo	48
6.2.	Análise subjetiva da QAI	49
6.3.	Conclusões.....	51
7.	REFERÊNCIAS	54
	ANEXO A - Questionário relativo à qualidade do ar	56

ANEXO B – Tabela de dados medidos.....	58
---	-----------

1. INTRODUÇÃO

Desde o final do século XIX descobriu-se a necessidade da ventilação para melhorar o conforto térmico e a concentração de particulados, para assim manter a qualidade do ar interno e suas consequências.

A principal delas é a relação entre qualidade do ar e incidência de doenças notada pelos egípcios ao perceberem que trabalhadores em cavernas sofriam mais disfunções respiratórias que em ar livre. Somente no século XVII os estudos avançaram, quando Mayow realizou experimentos com pequenos animais e concluiu que as partículas resultantes da chama de uma vela eram a causa da morte dos animais. Anos mais tarde, Lavoisier identificou essas partículas como CO_2 e, em 1777, ele iniciou um estudo sobre oxigênio e dióxido de carbono em um ambiente fechado populoso. Ele concluiu que o excesso de CO_2 , e não a redução do O_2 , causava o ar prejudicial [1].

Desde então muito se avançou e sabe-se que a QAI depende de diversos fatores, como a qualidade do ar externo, umidade relativa do ar, tipo e disposição de filtros, manutenção do sistema de AVAC, taxa de renovação e vazão, entre outros.

Com o processo de industrialização ocorrido a partir do século XVIII a poluição atmosférica vem crescendo, o que implica em uma pior QAI e, conseqüentemente, no uso de um melhor sistema de filtragem e numa maior taxa de renovação de ar.

Este aumento na poluição levou a uma maior conscientização sobre a importância de ter uma boa qualidade de ar para respirar, que é um dos direitos humanos fundamentais, segundo a OMS [2]. Porém obter uma melhor QAI demanda um maior gasto energético e financeiro, uma vez que será necessário o investimento e a manutenção de filtros e sistemas de renovação de ar, além da adição de carga térmica devido ao ar externo. Para garantir que o ar interior seja salubre, surgiram órgãos responsáveis por regulamentar a concentração máxima de poluentes presentes em um ambiente interno, como a ASHARAE e a ANVISA.

Tendo isso em vista, o objetivo deste estudo será analisar a QAI de uma sala do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP e verificar se

as condições atendem à norma NBR16401, comparando soluções que consideram aumentar a vazão de ar externo para a renovação e variações na capacidade de filtragem [3].

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar a qualidade do ar da sala A2 do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por meio de dados experimentais e da comparação de resultados com o estudo realizado por Farkhoury [10].

Nas medições serão coletados dados sobre a concentração de CO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, temperatura de bulbo seco e umidade relativa dos ambientes internos e externos.

Por fim o trabalho pretende definir uma relação entre o aumento da vazão de ar externo e a taxa de redução da concentração dos poluentes, mantidas características de filtração do ar externo e de retorno fixas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta primeira etapa do trabalho de conclusão de curso, propôs-se o estudo de casos similares e uma revisão bibliográfica. Portanto pesquisou-se normas, artigos e teses referentes a qualidade do ar que serão citadas e explicadas brevemente.

3.1. Definição da Qualidade do Ar Interior

Neste trabalho serão consideradas duas definições de qualidade de ar interno que são bastante parecidas.

- SMACNA: “Qualidade do ar interno pode ser definida como a natureza do ar que afeta a saúde e a percepção dos ocupantes”.

- ASHRAE: “Ar de qualidade aceitável é aquele que não possui contaminantes em concentrações acima de limites, prejudiciais à saúde (conforme estabelecido pelas autoridades competentes), e é considerado como satisfatório pela maioria dos ocupantes (80% ou mais)”.

E para complementar estas definições é interessante saber qual é o conceito de saúde. Segundo a OMS “Saúde é um estado de bem-estar completo e abrangente, físico, mental e social e não apenas um estado em que há ausência de doenças e enfermidades”.

Com esses e os outros conceitos que serão apresentados na secção seguinte, fica claro que a QAI é um conceito simples, mas difícil de ser quantificado, uma vez que depende de vários parâmetros, os quais serão classificados abaixo.

3.1.1. Parâmetros que influenciam a QAI

3.1.1.1. Fatores físicos

- Temperatura de bulbo seco

É o fator mais conhecido quando o assunto é ar condicionado e um dos mais importantes se tratando de conforto térmico. Diferente do que muitas pessoas pensam, as variações de temperaturas proporcionadas pelos sistemas de AVAC não causam malefícios à saúde. Assim sendo, esta é uma variável apenas para o conforto térmico.

- Umidade relativa

A umidade está intimamente ligada ao conceito de conforto térmico e saúde, uma vez que ela interfere diretamente na habilidade do corpo humano de trocar calor com o ambiente.

Diferente do item anterior, se a quantidade de água presente no ar não for adequada podem-se manifestar irritações e infecções nas vias respiratórias, já que um ar seco desidrata as mucosas protetoras das vias aéreas e por sua vez um ar com excesso de umidade facilita a transmissão e proliferação de micróbios.

- Velocidade do ar

Este item também influencia ambos os quesitos, conforto e saúde. Se a velocidade do ar de insuflação for muito alta ela pode gerar desconforto térmico, pois aumenta o coeficiente de troca de calor por convecção, além de poder incomodar os ocupantes com correntes de ar.

Quando o escoamento for rápido o suficiente e direto no rosto das pessoas ele pode desidratar as mucosas aéreas, levando aos problemas citados no item anterior e também podem secar os olhos, causando irritação e geração de lágrimas.

- Níveis de partículas em suspensão no ar

A quantidade de partículas no ambiente é muito importante, pois dependendo dos seus tamanhos e fonte o particulado pode ser muito prejudicial à saúde.

Aqui se encaixam poeiras, que muitas vezes são vetores de vírus e bactérias, esporos de plantas e fungos, que podem causar reações alérgicas e infecções.

- Níveis de ruído

O nível de ruído será tratado como um fator apenas para o conforto acústico, uma vez que dentro da faixa de conforto, cumpre-se também os requisitos para não haver danos à audição [1].

3.1.1.2. Fatores químicos

Este fator consiste na concentração de contaminantes que quando passam do limite das normas são tóxicas e podem causar sérios problemas de saúde.

- Compostos Orgânicos Voláteis
- Fumos de nicotina
- Ozônio
- Formaldeídos
- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono

Vale ressaltar que, apesar da ampla discussão sobre o assunto, o CO₂ continua sendo um indicador bastante utilizado para quantificar a QAI, uma vez que para controlar a concentração destas substâncias é necessária uma taxa de renovação de ar para diluir os poluentes.

3.1.1.3. Fatores biológicos

Assim como os parâmetros químicos, os biológicos são perigosos quando sua concentração excedem o limite e também são controlados com a vazão de ar externo.

São considerados contaminantes biológicos os fungos, amebas, esporos e micróbios.

Tendo o objetivo de qualificar a qualidade do ar do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, neste trabalho serão analisados os parâmetros referentes ao Conforto e a Saúde.

A seguir serão tratadas de algumas formas de controlar os fatores citados.

3.2. Norma brasileira sobre QAI

A norma brasileira, NBR16401 - 3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior [2], que especifica os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas AVAC, visando à obtenção de QAI aceitável para conforto. Para isso a norma define três parâmetros:

3.2.1. Vazões de ar externo

3.2.1.1. Vazões mínimas de ar externo para ventilação

A vazão mínima de ar exterior é muito importante para garantir um ar aceitável, uma vez que ele promove a diluição de contaminantes gasosos presentes e gerados no interior. Este fator é calculado pela metodologia da ANSI/ASHRAE 62.1 [3], usando a fórmula:

$$V_{ef} = P_z \cdot F_p + A_z \cdot F_a \quad (1)$$

Onde:

V_{ef} – Vazão eficaz de ar exterior, expressa em litros por segundo (L/s);

F_p – Vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (L/s*pessoa);

F_a – Vazão por área útil ocupada (L/s*m²);

P_z – Número máximo de pessoas na zona de ventilação;

A_z – Área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m^2).

Os valores de F_p e F_a estão estipulados na Tabela 1.

Tabela 1 - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas /100m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s*m ²
		Fp L /s*pessoa	Fa L /s*m ²	Fp L /s*pessoa	Fa L /s*m ²	Fp L /s*pessoa	Fa L /s*m ²	
Estabelecimentos de ensino								
Sala de Aula	35	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de informática	25	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9	--
Laboratório de ciências	25	5	0,9	6,3	1,1	7,5	1,4	5,0
Legenda								
Nível 1 - Nível mínimo de vazão de ar exterior para ventilação.								
Nível 2 - Nível intermediário da vazão de ar exterior para ventilação.								
Nível 3 - Vazões de ar exterior para ventilação que segundo estudos existem evidencias de redução reclamações e manifestações alérgicas								
Fp - Fração de ar exterior relacionada às pessoas								
Fa - Fração de ar exterior relacionada ao recinto								
D - Densidade de ocupação esperada, referida à área útil ocupada								

Fonte - Adaptado de ABNT NBR 16401-3:2008

3.2.1.2. Vazão a ser suprida na zona de ventilação

É a vazão eficaz corrigida pela eficiência da distribuição de ar na zona e é calculada pela seguinte fórmula:

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z} \quad (2)$$

Onde:

V_z – é a vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação

E_z – é a eficiência da distribuição de ar na zona.

Tabela 2 - Eficiência da distribuição de ar na zona de ventilação

Configuração da distribuição de ar	Ez
Insuflação de ar pelo forro	1,0
Insuflação de ar quente pelo forro e retorno pelo piso	1,0
Insuflação do ar quente pelo forro, 8°C ou mais acima da temperatura do espaço e retorno pelo forro	0,8
Insuflação de ar quente pelo forro a menos de 8°C acima da temperatura do espaço, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m do piso à velocidade de 0,8 m/s	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso e retorno pelo forro, desde que o jato de ar insuflado alcance uma distância de 1,4 m ou mais do piso à velocidade de 0,8 m/s	1,0
Insuflação de ar frio pelo piso, com fluxo de deslocamento a baixa velocidade e estratificação térmica, e retorno pelo forro	1,2
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo piso	1,0
Insuflação de ar quente pelo piso e retorno pelo forro	0,7
Ar de reposição suprido do lado oposto à exaustão ou ao retorno	0,8
Ar de reposição suprido à proximidade da exaustão ou do retorno	0,5

Fonte - Adaptado de ABNT NBR 16401-3:2008

3.2.1.3. Vazão de ar exterior a ser suprida pelo sistema

Há três formas de calcular essa vazão.

a) Sistema com zona de ventilação única

$$V_s = V_z \quad (3)$$

b) Sistema com zonas múltiplas suprindo exclusivamente ar exterior

$$V_s = \sum V_z \quad (4)$$

c) Sistema com zonas múltiplas suprindo mistura de ar externo e de recirculação

$$V_s = \frac{[D \cdot \sum (P_z \cdot F_p) + \sum (A_z \cdot F_a)]}{E_v} \quad (5)$$

Onde:

D – é o fator de diversidade de ocupação (que corrige somente a fração do ar exterior relacionada às pessoas), definido como:

$$D = \frac{P_s}{\sum P_z} \quad (6)$$

Sendo:

P_s – o total de pessoas simultaneamente presentes nos locais servidos pelo sistema;

$\sum P_z$ – a soma das pessoas previstas em cada zona;

E_z – a eficiência do sistema de ventilação em suprir a vazão eficaz do ar exterior requerida em cada zona de ventilação;

E_v – determinado em função da zona que apresenta o maior fator Z_{ae} , definido pela equação:

$$Z_{ae} = \frac{V_z}{V_t} \quad (7)$$

Sendo:

Z_{ae} – calculado para todas as zonas do sistema;

V_z – a vazão de ar exterior requerida na zona de ventilação;

V_t – a vazão total insuflada na zona;

Tabela 3 - Eficiência da distribuição de ar nas zonas de ventilação

Z_{ae} máx.	E_v
$\leq 0,15$	1,0
$\leq 0,25$	0,9
$\leq 0,35$	0,8
$\leq 0,45$	0,7
$\leq 0,55$	0,6

Fonte - Adaptado de ABNT NBR 16401-3:2008

3.2.2. Filtros

A tabela 4 mostra as classificações e tipos de filtros para particulado.

Tabela 4 - Classificação de filtros de partículas de acordo com a NBR 16401-3:2008

Tipo de filtros	Classe	Eficiência gravimétrica média $E_g\%$	Eficiência média para partículas de $0,4 \mu m$ $E_f\%$
Grossos	G1	$50 \leq E_g < 65$	--
	G2	$65 \leq E_g < 80$	--
	G3	$80 \leq E_g < 90$	--
	G4	$90 \leq E_g$	--
Finos	F5	--	$40 \leq E_f < 60$
	F6	--	$60 \leq E_f < 80$
	F7	--	$80 \leq E_f < 90$
	F8	--	$90 \leq E_f < 95$
	F9	--	$95 \leq E_f$

Fonte - Adaptado de ABNT NBR 16401-3:2008

A tabela não apresenta filtros de gases que devem ser utilizados quando necessário.

A norma da ABNT ainda classifica a filtragem mínima para cada tipo de aplicação, como não há valor para instituições de ensino, a norma sugere o uso da classificação de uma aplicação parecida, portanto para escolas a classe mínima de filtragem é F5.

A NBR 16401 usa como referência, para a parte de filtros, a norma NBR 16101, que foi revisada recentemente e houve mudanças na classificação dos filtros. Neste trabalho será utilizada a classificação antiga.

3.2.3. Requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos à QAI

Esta parte da norma trata de lugares de instalação dos componentes do sistema de AVAC e materiais a serem utilizados que não são o escopo deste estudo.

A parte 3 da norma contém dois anexos, um que indica valores máximos de diversos poluentes, apresentados na Tabela 5. E outro que trata sobre o CO₂ e a QAI, estabelecendo que o dióxido de carbono é um indicador válido do nível de poluição produzido pelas pessoas, mas não pode ser considerado um indicador da qualidade do ar do recinto, pois a QAI depende de vários outros poluentes que não têm nenhuma relação com a concentração de CO₂.

Tabela 5 - Concentrações limites de poluentes

Poluente	Limite
Monóxido de carbono	9 ppm (8h) *
Formaldeído	27 ppb (8h) **
Dióxido de nitrogênio	100 µg/m ³
Material particulado (PM ₁₀)	50 µg/m ³
Dióxido de enxofre	50 µg/m ³
Ozônio	100 µg/m ³
Dióxido de carbono	3500 ppm

Fonte - Adaptado de ABNT NBR 16401-3:2008

*ppm (8h) significa a média, em partes por milhão, em oito horas.

**ppb (8h) significa a média, em partes por bilhão, em oito horas.

A norma brasileira não especifica limites para a concentração de PM_{2,5}, que é considerado atualmente mais crítico para a saúde que o PM₁₀, que por ser muito pequeno consegue penetrar as barreiras físicas do sistema respiratório. Segundo a OMS [4], o limite para este tipo de material particulado é de 25µg/m³.

3.3. Manual REHVA Filtragem de Ar nos Sistemas de AVAC

O manual [5] classifica a qualidade do ar externo em três categorias, ODA 1, ODA 2 e ODA 3.

ODA 1: quando todas as diretrizes de orientação da OMS e todas as normas nacionais relativas à QAE são cumpridas. Comum em áreas rurais com ausência de poluição.

ODA 2: quando as concentrações de poluentes excedem as orientações da OMS e das normas nacionais em até 1,5 vezes. Típicos em áreas urbanas média pequenas e sem concentração de indústria.

ODA 3: quando as concentrações de poluentes excedem as guias da OMS e as normas nacionais em valores maiores que 1,5 vezes. Comum em grandes centros urbanos com tráfego intenso e áreas industriais.

O texto de Gustavsson também relaciona a incidência de doenças respiratórias com a concentração de alguns poluentes. E estabelece tipos e configurações de filtros para que a QAI seja garantida e afirma, assim como a OMS, que não se pode priorizar a economia energética em detrimento à qualidade do ar.

3.4. Manual REHVA sobre Projeto de sistemas de ventilação e ar condicionado energeticamente eficientes

Este manual [6] relaciona o uso de diferentes tipos e configurações de filtros com a eficiência energética e também mostra detalhes que devem ser levados em consideração como materiais a serem usados e espaços para realização de manutenção.

Outro tema abordado é que o uso adequado de filtros, pode inclusive gerar uma economia energética, uma vez que se houver filtragem no ar externo e no ar de retorno da unidade de tratamento garante-se que o maquinário fique limpo por mais tempo, impedindo que ocorra depósito de partículas, nas paredes dos condutos e das partes girantes, impedindo a geração de perda de pressão. Claro que para que essa economia ocorra, é necessária uma manutenção constante dos filtros no sistema.

3.5. Resolução – RE N° 9 de 2003 da ANVISA

A resolução [7], resultado da Portaria 3523 do Ministério da Saúde [8], tem como objetivo regulamentar a qualidade de ar interior por meio da definição de três tipos de contaminantes e quais são seus parâmetros de referência e níveis máximos.

Tabela 6 - Valores máximos de parâmetros para qualidade do ar interno segundo a Resolução - RE 09

Contaminantes Microbiológicos	
Fungos	
VMR	$\leq 750 \text{ ufc/m}^3$
Relação I/E	$\leq 1,5$
Obs.: É inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos	
Contaminantes Químicos	
CO ₂	
VMR	$\leq 1000 \text{ ppm}$
Aerodispersóides	
VMR	$\leq 80 \mu\text{g/m}^3$
Contaminantes Físicos	
Temperatura	
Verão	23°C - 26°C
Inverno	20°C - 22°C
Umidade Relativa	
Verão	40% - 60%
Inverno	35% - 65%
Velocidade do Ar	
Nível de 1,5 m do piso	0,25 m/s
Taxa de Renovação	
Normal - Taxa mínima	27m ³ /h/pessoa
Alta rotatividade - Taxa mínima	17m ³ /h/pessoa
Filtros	
Tomada de ar externo	G1
Ambientes internos	G3

3.6. Estudo da Qualidade do Ar Interior num edifício departamental da Universidade de Coimbra

Este estudo [9] também relaciona as a QAI com incidência de doenças, neste caso ele é específico para o Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, mostra também que a maioria dos ambientes que tiveram avaliação de QAI ruins têm sistemas de AVAC.

4. METODOLOGIA

4.1. Descrição do sistema de AVAC

Os objetos de estudo deste trabalho são as salas reformadas do bloco A, em particular a sala A2, do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que contam com sistema de ar condicionado, aquecimento e ventilação.

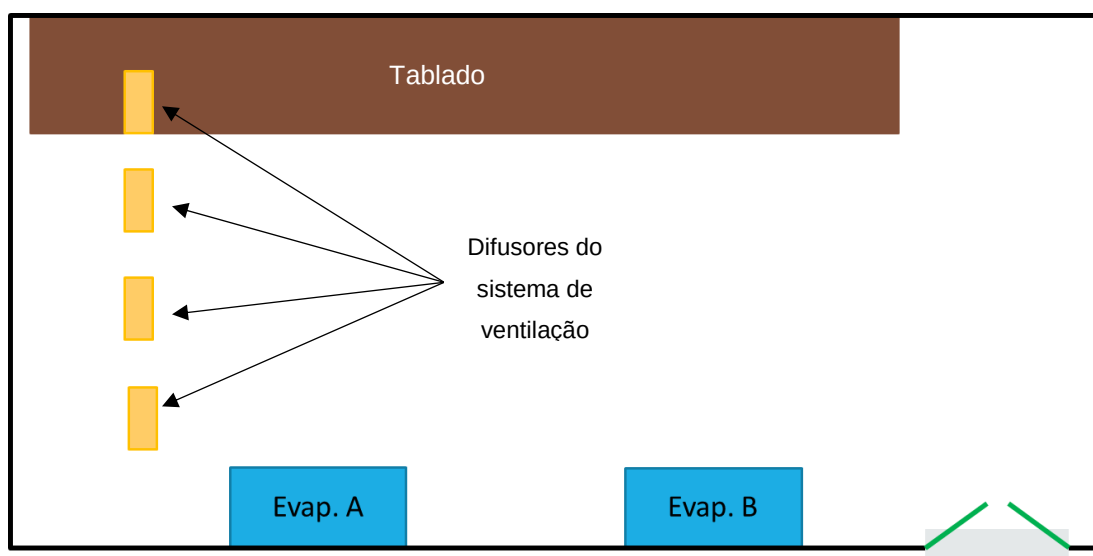


Figura 1 - Esquema do sistema de ar condicionado e ventilação da sala A2.

4.1.1. Ar condicionado e aquecimento

Responsável pela remoção, nos dias quentes e pela adição, nos dias frios, da carga térmica do ambiente necessária para mantê-lo a 24°C.

Contém duas unidades de condicionamento do tipo Split, que podem ser ligadas separadamente, dependendo da quantidade de alunos na sala.

Os evaporadores estão instalados no teto do fundo da sala, minimizando a quantidade de ruído no tablado.

4.1.2. Ventilação

É o sistema responsável pela renovação do ar interior e por consequência de suma importância para a qualidade do ar das salas.

Contém quatro caixas de ventilação isoladas acusticamente, com um ventilador instalado e dois filtros, responsáveis pela retenção de partículas.

O ar externo é insuflado diretamente na sala, que funciona como a própria caixa de mistura.

Além disso o escape do ar tratado da sala é feito principalmente por grelhas de porta para o corredor, assim o corredor fica levemente climatizado e daí segue para o meio exterior. O escape pode ocorrer também por frestas no forro e nos caixilhos de janelas para o corredor, assim o corredor fica levemente climatizado.

4.2. Definição dos parâmetros a serem medidos

4.2.1. Temperatura de bulbo seco do ambiente externo e interno

O intuito desta medida é comparar as temperaturas para analisar a eficiência da remoção da carga térmica sensível do ambiente interno e, assim, saber se o projeto cumpre os requisitos de conforto térmico.

4.2.2. Umidade relativa do ar externo e interno

A coleta dos valores de umidade relativa tem como objetivo verificar a capacidade do sistema de remover a carga térmica latente das salas de aula. Assim como no caso das temperaturas de bulbo seco, pode-se avaliar se o projeto cumpre os requisitos de conforto térmico.

4.2.3. Concentrações no ar externo e interno de CO₂

Esta medição será muito importante para o projeto, uma vez que será utilizada como parâmetro para verificar a qualidade da renovação do ar e, portanto, quanto os contaminantes são diluídos.

É necessária a medição de concentração de ambos os ambientes, interno e externo, para garantir que o ar de renovação tenha menor quantidade de poluentes.

4.2.4. Concentrações no ar externo e interno de CO

O objetivo da obtenção desses valores é averiguar se o procedimento de utilizar o CO₂ como parâmetro para a qualidade da renovação de ar é válido

4.2.5. Quantidade de particulado no ar do ambiente externo e interno

Assim como o item anterior, esses dados serão utilizados para validar o uso do dióxido de carbono como parâmetro para a QAI e caso a parametrização não seja viável, ainda haverá dados para analisar a qualidade do ar.

4.2.6. Níveis de ruído

Esta medição será utilizada para verificar se o ambiente está conforme a norma de conforto acústico e como ele contribui para a qualidade do ambiente interno.

4.3. Instrumentação

4.3.1. Contador de partículas

Para as medições de PM_{10} e $PM_{2,5}$ utilizou-se o contador de partículas portátil Graywolf PC-3016A.



Figura 2 - Contador de partículas utilizado nas medições.

Tabela 7 - Características do medidor de particulado.

Faixa de Medição	$4 \cdot 10^6$ Partículas/ft ³
Exatidão	$\pm 5\%$
Resolução	$0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.3.2. Medidor de CO₂

Para os dados de CO₂ utilizou-se o medidor portátil de concentração de dióxido de carbono - Testo 535



Figura 3 - Medidor de CO₂ utilizado nas medições.

Tabela 8 – Características do medidor de CO₂.

Faixa de Medição	0 a 5000 ppm	5001 a 9999 ppm
Exatidão	$\pm(75 \text{ ppm} + 3\% \text{ do valor medido})$	$\pm(150 \text{ ppm} + 5\% \text{ do valor medido})$
Resolução	1 ppm	

4.3.3. Termo higrômetro

Para as medições de Temperatura de Bulbo Seco e de Umidade Relativa do ar utilizou-se o equipamento da HOMIS 974.



Figura 4 - Termo higrômetro utilizado nas medições.

Tabela 9 - Características do termo higrômetro utilizado nas medições.

Faixa de Medição	0 a 50 °C	0 a 100 % de UR
Exatidão	0,5 °C	± 2 % de UR
Resolução	0,01 °C	0,01 % de UR

4.4. Procedimento experimental

Como a QAI depende de muitos fatores, todas as medições serão feitas tomando valores internos e externos da sala, para que seja possível uma análise comparativa.

Foram realizados dois tipos de medições. O primeiro, durante atividades práticas, a condição mais crítica para o sistema, uma vez que se tem grande geração de particulado, devido a lixamentos e cortes de madeira e de CO₂ devida a alta taxa metabólica das pessoas. O segundo, durante aula teórica, condição normal de uso da sala.



Figura 5 – Local de medição interno durante atividade prática.

As medições foram feitas a cada 15 minutos. As tomadas internas localizavam-se no centro da sala, como pode-se ver na Figura 5, enquanto as externas estavam ao lado do jardim de entrada do prédio da mecânica, Figura 6, local onde ocorre a entrada de ar externo no sistema de ventilação.



Figura 6 - Ponto de medição externo.

Todas as medições foram feitas segundo a Tabela 10, usando como referência o estudo realizado por Farkhoury [10], para que seja possível fazer comparações entre os dados. As tabelas com os dados coletados são apresentadas no ANEXO B – Tabela de dados.

Tabela 10 - Modelo de tabela utilizada na coleta de dados.

[illegible]

5. RESULTADOS DE MEDIÇÕES

5.1. Atividades práticas – similares a laboratórios

5.1.1. Oficina de brinquedos (10/06/2017)

A seguir serão apresentados os gráficos das medições realizadas no dia 10 de junho, que contou com alta movimentação de pessoas na sala, além de grande geração de material particulado com as atividades de corte, lixamento e furação.

As medições começaram as 10h30 e se estenderam até as 17h00 com uma pausa de uma hora e meia para almoço as 12h40.

Os dados foram validados confrontando os valores externos medidos na oficina com os da CETESB na estação meteorológica de Pinheiros [11], que fica na Av. Professor Frederico Hermann Júnior, 345, a 3,2 km de distância da Escola Politécnica, obtendo pouca diferença entre ambas as medidas.

Tabela 11 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (10/06/2017).

	Comparação QUALAR					
	PM _{2,5}		PM ₁₀		TBS	
	POLI	Est. Pinheiros	POLI	Est. Pinheiros	POLI	Est. Pinheiros
11:00	8,6	10	19,4	19	17	16,3
12:00	6,5	4	15,5	15	17,1	17,8
17:00	4,3	14	16,7	22	18,7	18,5

5.1.1.1. Concentração de CO₂

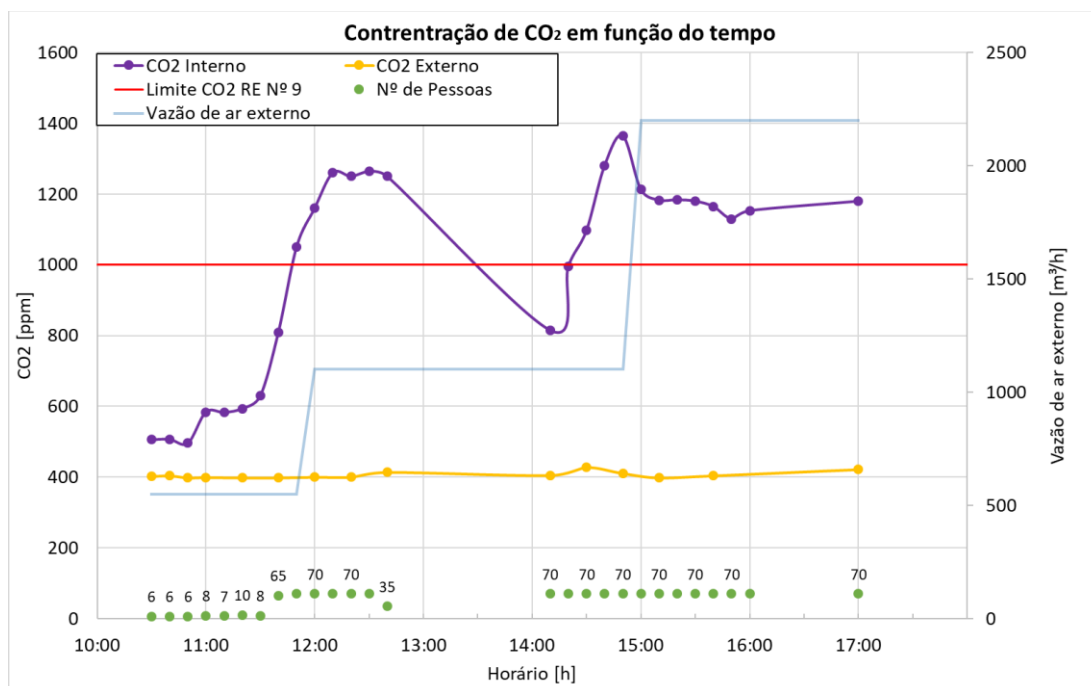


Figura 7 - Concentração de CO₂ na oficina de brinquedos (10/06/2017).

Nota-se claramente na Figura 7 que há dois momentos que a concentração de CO₂ cresce rapidamente, um por volta das 11h40, quando as crianças e os monitores entram na sala e começam os trabalhos e outro as 14h10 quando as pessoas voltam do horário de almoço.

Percebe-se também que mesmo com o aumento da vazão as 15h não é possível levar a concentração de CO₂ para dentro do limite da ANVISA.

5.1.1.2. Concentração de PM₁₀

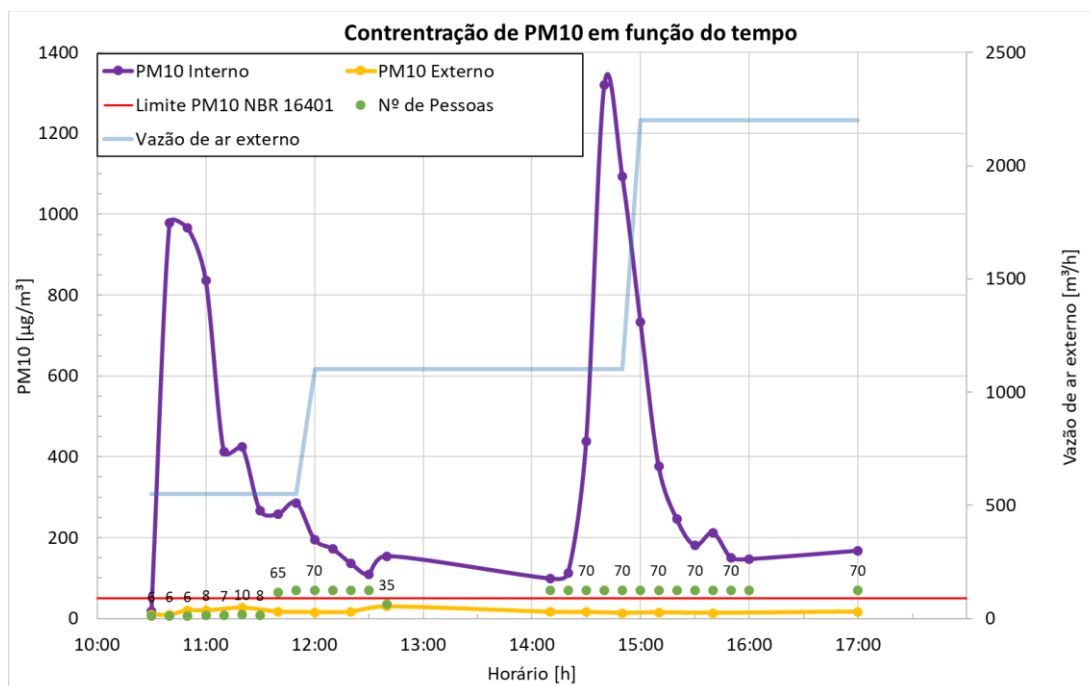


Figura 8 - Concentração de PM₁₀ na oficina de brinquedos (10/06/2017).

Na Figura 8, pode-se ver que há dois picos na concentração de particulado, o primeiro é devido à fabricação e montagem de mesas de madeira no começo da oficina, o segundo ao lixamento dos brinquedos e alta movimentação dentro da sala. Observa-se que a renovação do ar é bastante eficaz em tornar o ar mais limpo e há uma tendência de expulsar as partículas da sala, mesmo quando a vazão de ar externo estava em 550 m³/h a taxa de decaimento da concentração é bastante acentuada.

5.1.1.3. Concentração de PM_{2,5}

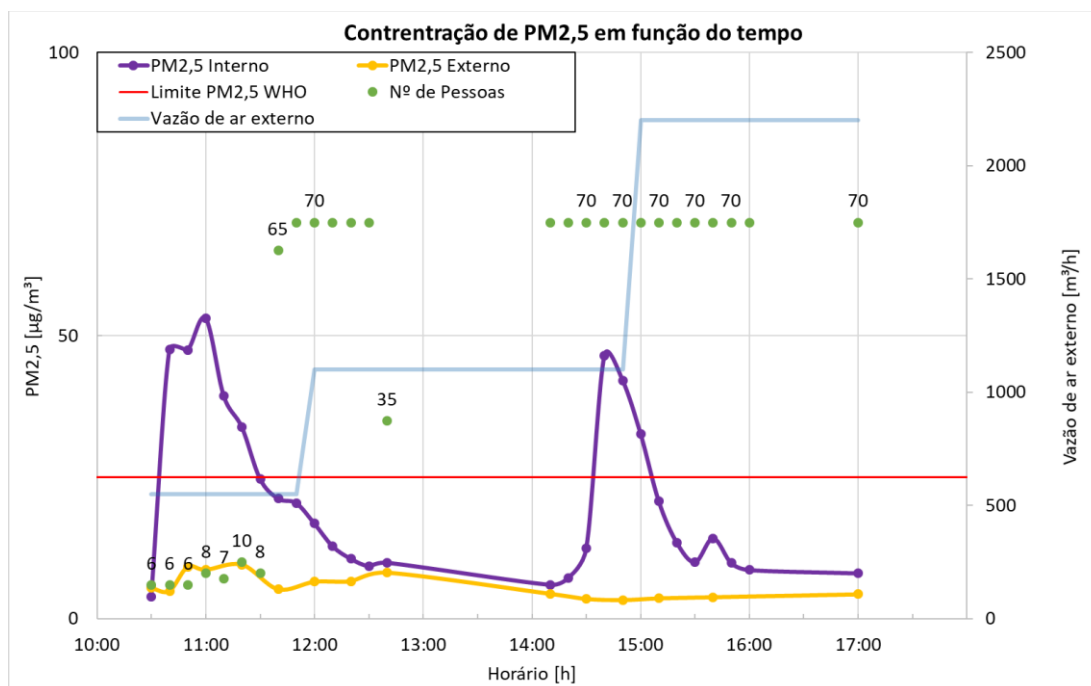


Figura 9 - Concentração de PM_{2,5} na oficina de brinquedos (10/06/2017).

Assim como no caso anterior, há dois picos de concentração, porém em proporções muito menores e também pode-se ver a eficácia do sistema de renovação em remover as partículas do ambiente, levando a quantidade do contaminante rapidamente para dentro do limite estipulado pela organização mundial de saúde.

5.1.1.4. Temperatura de Bulbo Seco

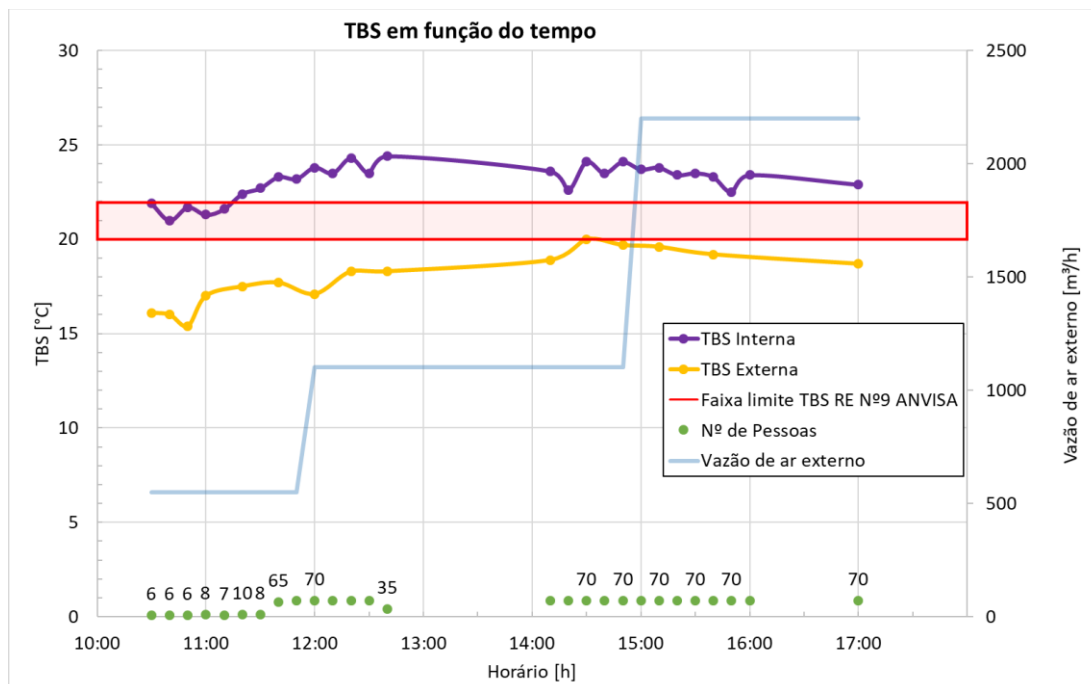


Figura 10 - Distribuição da temperatura de bulbo seco na oficina de brinquedos (10/06/2017).

A Figura 10 mostra como a temperatura de bulbo seco se comportou durante a atividade, sendo a faixa limite, representada em vermelho, as temperaturas máxima e mínima para condição de inverno estipulada pela ANVISA. Pode-se ver que a temperatura fica acima dessa faixa, porém a temperatura ficou oscilando entre o *setpoint* do equipamento, 24 °C.

Percebe-se também que a temperatura da sala aumenta junto a quantidade de ocupantes, mostrando a necessidade de condicionamento da sala mesmo em dias frios.

5.1.1.5. Umidade Relativa

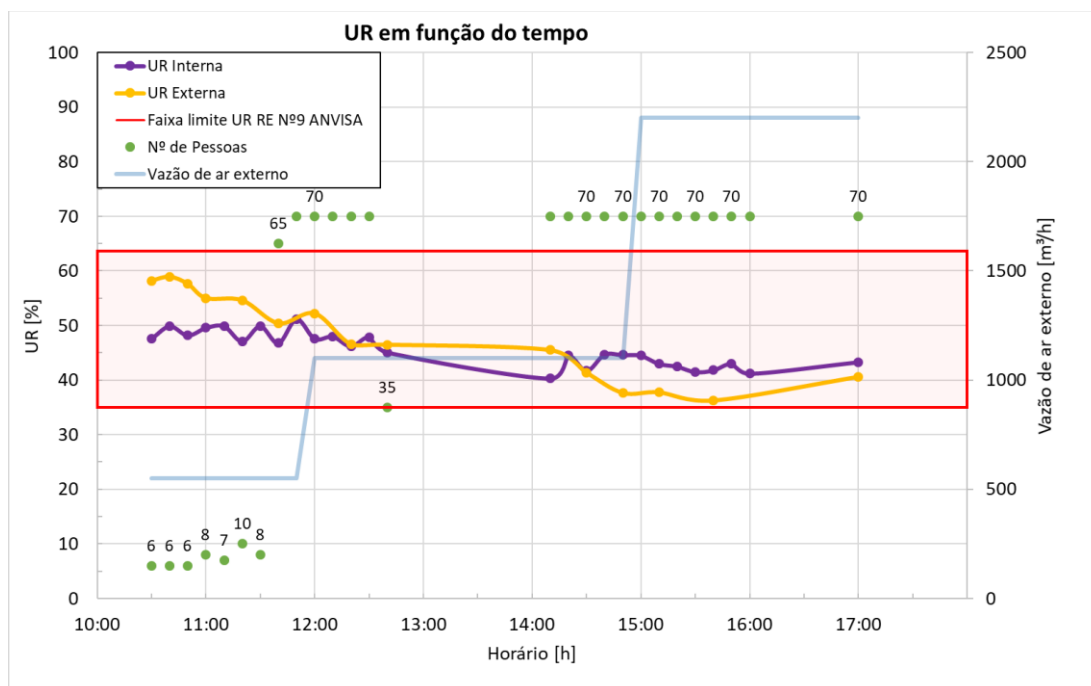


Figura 11 - Distribuição da umidade relativa na oficina de brinquedos (10/06/2017).

Assim como na seção anterior, a Figura 11 mostra a faixa limite de umidades relativas imposta pela ANVISA para o inverno. A umidade relativa tanto interior quanto exterior se mantiveram dentro da faixa.

5.1.2. Oficina de carrinhos de rolimã (21 e 22/10/2017)

A seguir são apresentados os dados coletados durante a oficina de carrinhos de rolimã, realizada nos dias 21 e 22 de outubro de 2017, nas salas A2 e A5.

Como o objeto de estudo deste trabalho limita-se à sala A2, foram coletados dados somente dela.

A oficina contou com alta movimentação de pessoas e atividades de corte, lixamento e furação.

Os dados foram validados confrontando os valores externos medidos na oficina com os da CETESB na estação meteorológica de Pinheiros [11].

Tabela 12 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (21/10/2017).

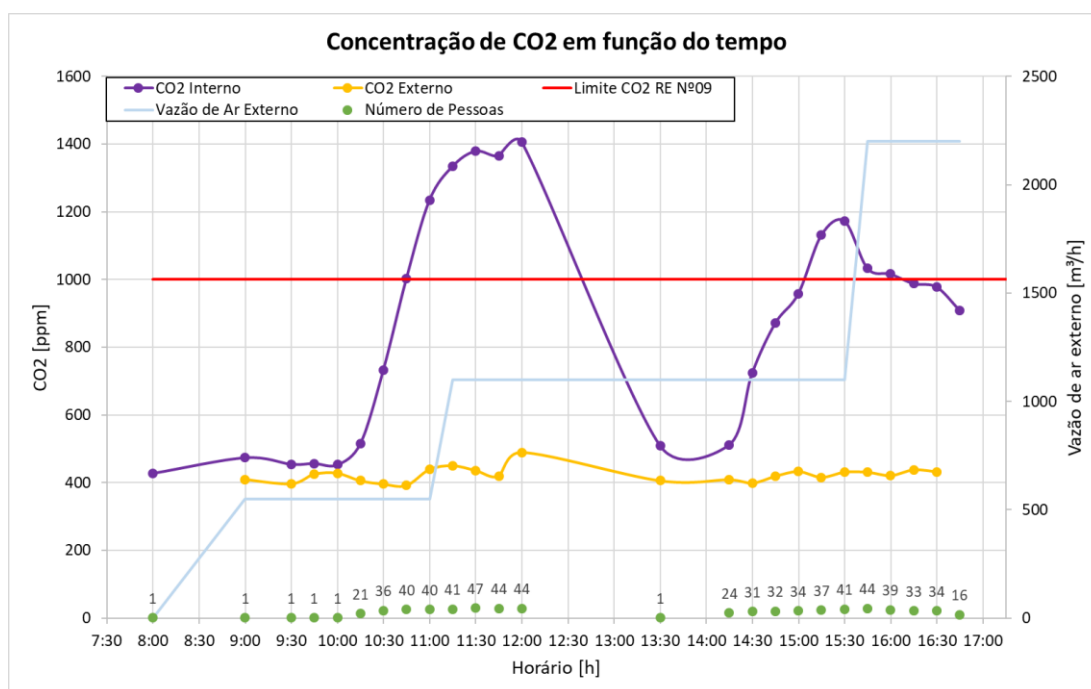
	Comparação QUALAR			
	PM _{2,5}		TBS	
	POLI	Est. Pinheiros	POLI	Est. Pinheiros
09:00	12,47	10	22,66	21,2
11:00	15,2	13	24	23,4
15:00	30,2	32	24,4	25,9

Tabela 13 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (22/10/2017).

	Comparação QUALAR			
	PM _{2,5}		TBS	
	POLI	Est. Pinheiros	POLI	Est. Pinheiros
09:00	13,9	9	22	21,2
11:00	12	13	21,3	19,8
15:00	13,3	18	21,4	20,6

5.1.2.1. Concentração de CO₂

Assim como na Figura 7 pode-se ver que em ambos os gráficos, Figura 8 e Figura 9 que há dois picos, uma na parte da manhã e outro na parte da tarde, ambos são resultado da ocupação da sala e da alta taxa metabólica dos ocupantes, devido à atividade realizada.

Figura 12 - Concentração de CO₂ no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).

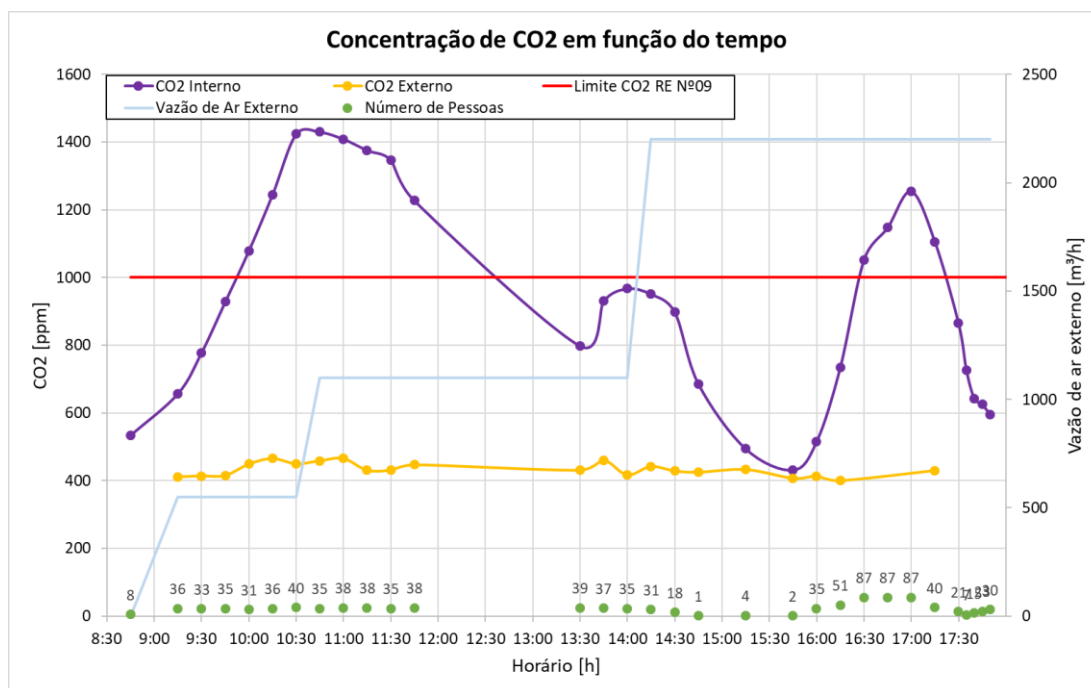


Figura 13 - Concentração de CO₂ no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).

Porém dessa vez, observa-se que na oficina de carrinhos de rolimã ao conseguiu-se levar a concentração de dióxido de carbono para dentro dos limites estipulados pela ANVISA, atribui-se isso ao fato de que a quantidade de ocupantes foi muito menor do que na oficina de brinquedos.

5.1.2.2. Concentração de PM₁₀

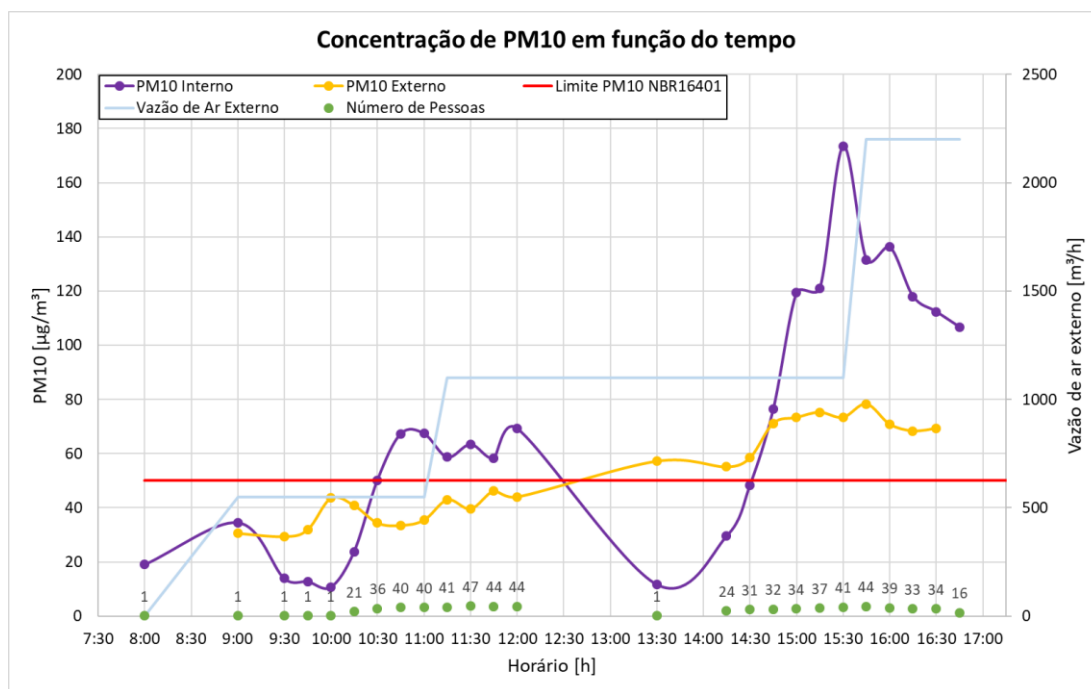


Figura 14 - Concentração de PM₁₀ no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).

Na Figura 14 observa-se que a concentração de PM_{10} começa a aumentar a partir das 14h 15min, quando as crianças voltam do almoço e atividade com as alunas da odontologia e começam a lixar, cortar e furar os seus carrinhos.

Às 15h 30min a renovação de ar é aumentada para 2200 m^3/h , fazendo com que a concentração de particulado caia rapidamente.

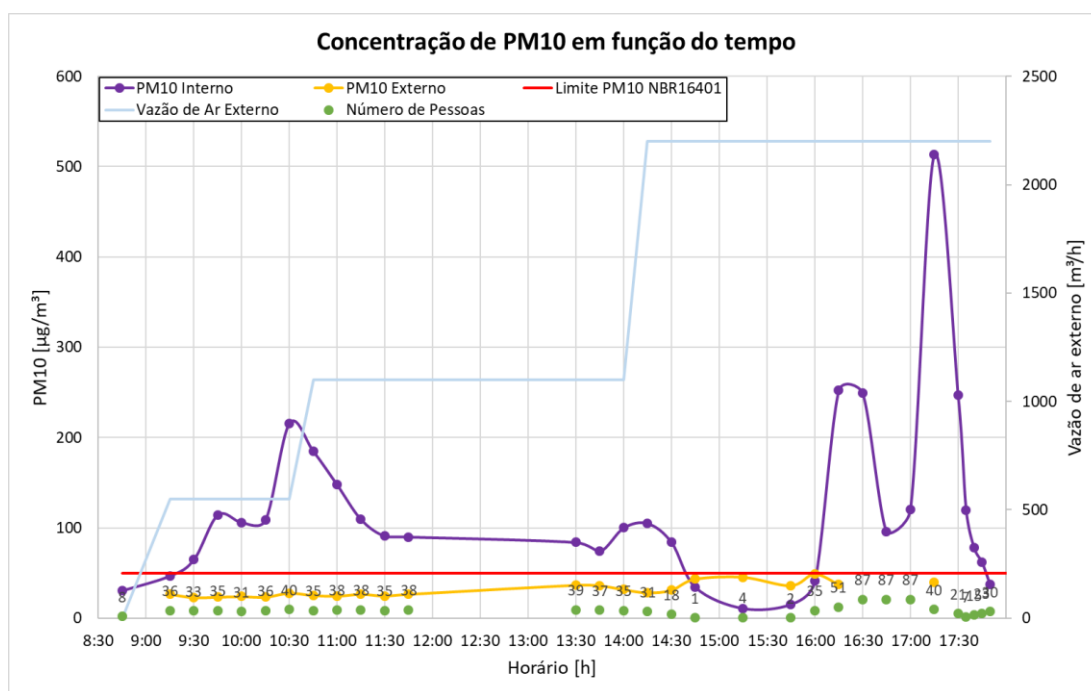


Figura 15 - Concentração de PM_{10} no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).

Já na Figura 15 observa-se um pico local por volta das 10h 30min, outro as 16h 15min e um pico global as 17h 15min.

O primeiro é devido ao término das atividades de usinagem, começadas no final do sábado, pode-se observar também que o aumento da vazão levou a uma queda na concentração.

O segundo pico é devido a alta movimentação na sala, fazendo com que parte da poeira que estava depositada no chão entrasse em suspensão novamente, a partir do momento em que as crianças se sentaram e a movimentação diminuiu, 16h 30min, pode-se observar uma grande diminuição das partículas suspensas.

O terceiro pico, assim como o anterior é devido a grande movimentação de pessoas e neste caso somou-se à arrumação da sala, quando ela foi varrida e as cadeiras colocadas de volta aos seus lugares. Isso fez novamente com que as partículas depositadas no chão voltassem a ficar suspensas.

5.1.2.3. Concentração de PM_{2,5}

O comportamento do PM_{2,5} é bastante parecido com o do PM₁₀, porém com uma diferença significativa na quantidade. Atribui-se isso ao fato de que a atividade praticada gera mais material particulado de tamanho até 10 µm do que de até 2,5 µm.

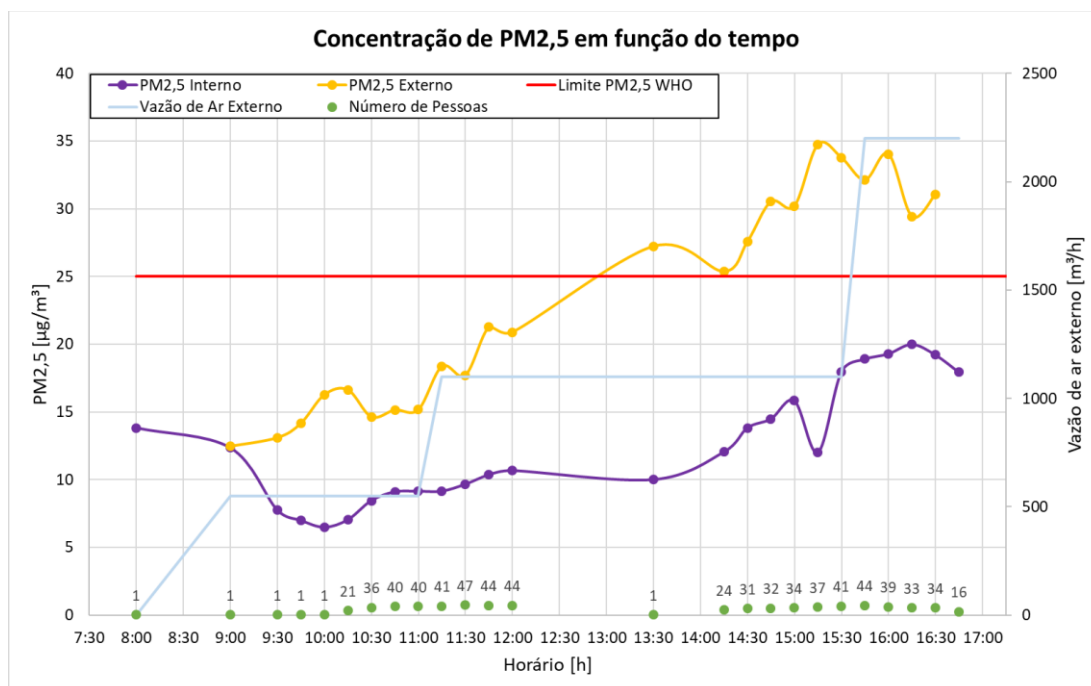


Figura 16 - Concentração de PM_{2,5} no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).

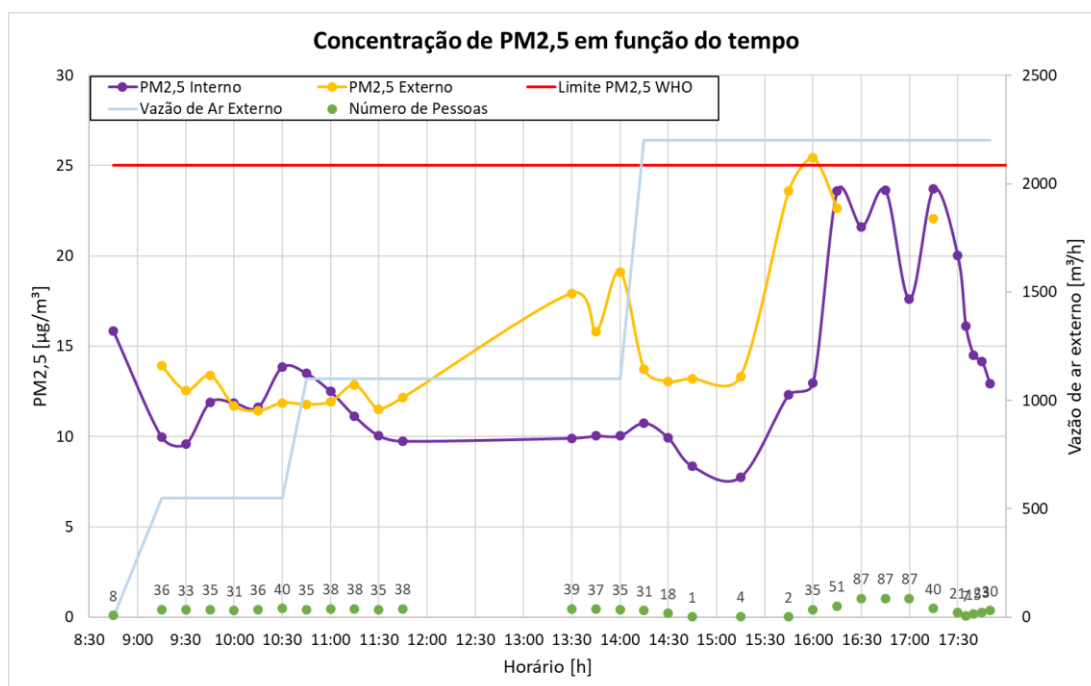


Figura 17 - Concentração de PM_{2,5} no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).

5.1.2.4. Temperatura de Bulbo Seco

A Figura 18 e Figura 19 mostram a distribuição de temperaturas durante os dias da oficina de carrinhos de rolimã.

Desta vez a faixa limite de temperatura, representada em vermelho, expressa os valores de temperatura máxima e mínima, para o verão, estipuladas pela ANVISA.

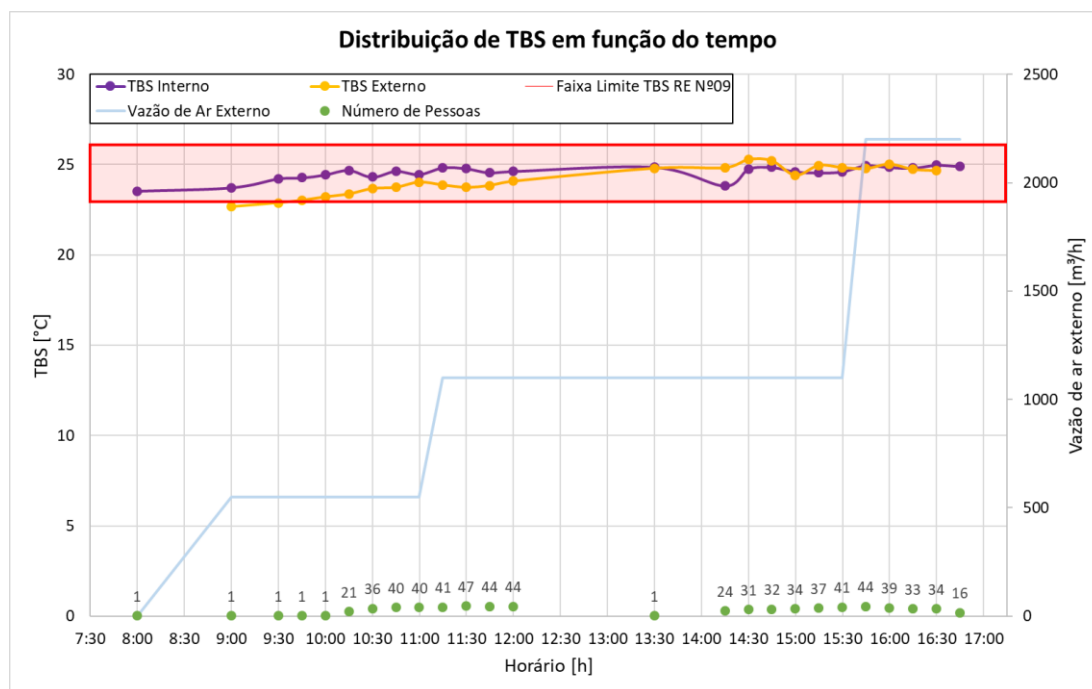


Figura 18 - Distribuição da temperatura de bulbo seco no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).

Observa-se que durante toda a atividade a temperatura se manteve dentro dos limites e sempre oscilando entre o *setpoint* definido em 23 °C no primeiro dia e 22 °C no segundo.

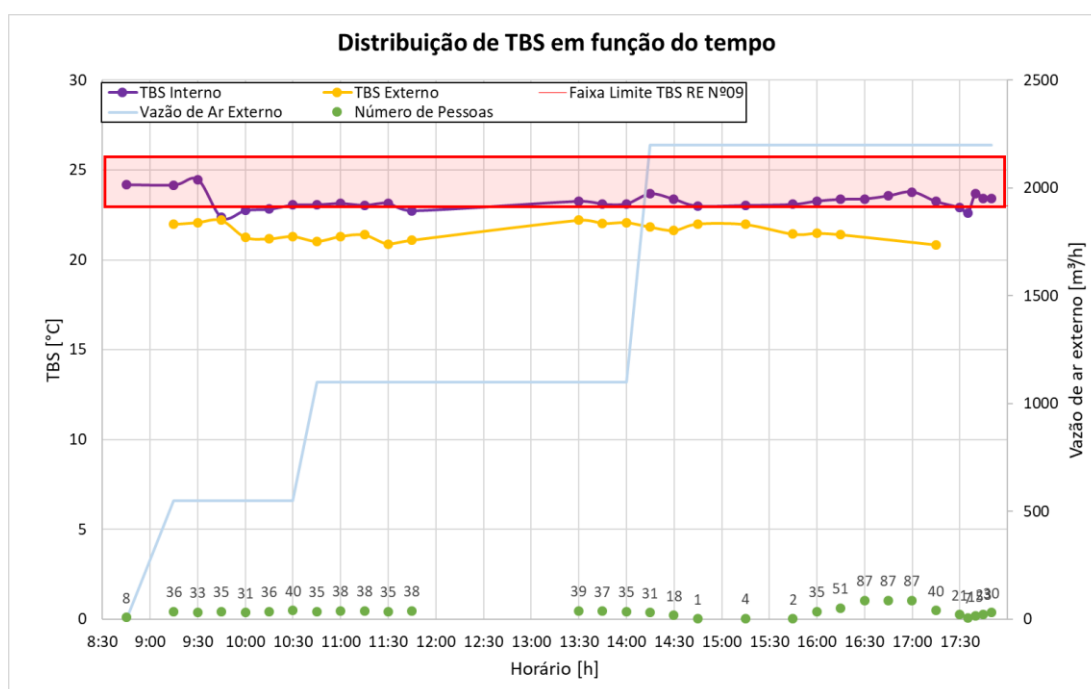


Figura 19 - Distribuição da temperatura de bulbo seco no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).

5.1.2.5. Umidade Relativa

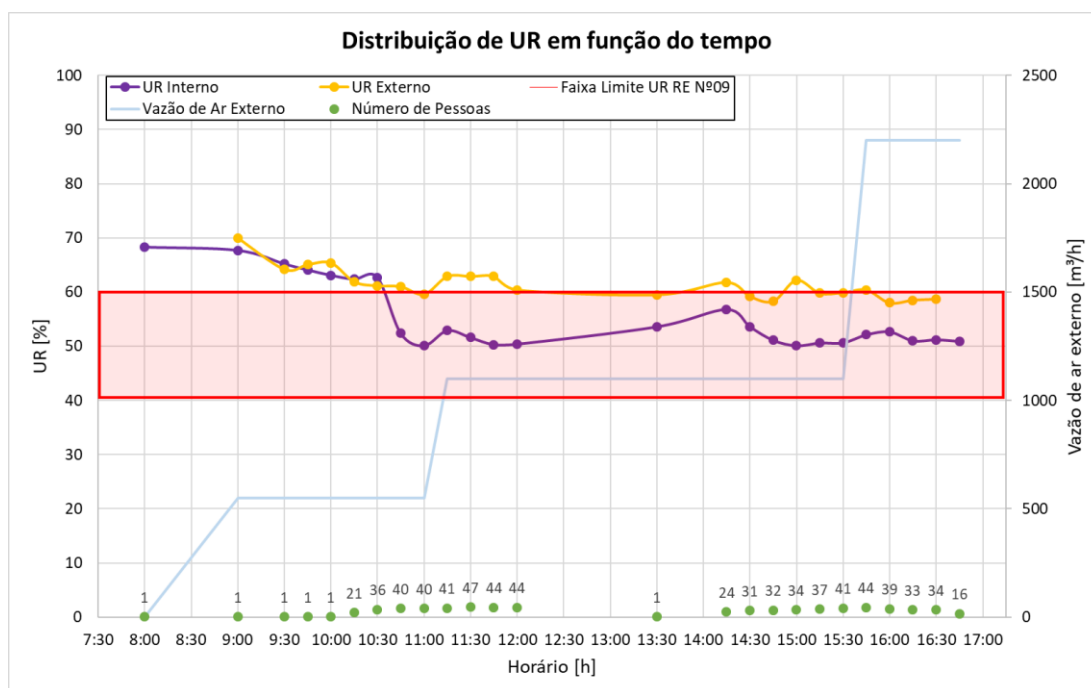


Figura 20 - Distribuição da umidade relativa no primeiro dia da oficina de carrinhos de rolimã (21/10/2017).

A Figura 20 e Figura 21 mostram a distribuição da umidade relativa durante os dias da oficina, assim como no caso da temperatura de bulbo seco, nestas medições foram considerados os limites para o verão.

Na Figura 20 pode-se ver que o tempo todo a UR se manteve dentro dos limites. O mais interessante do primeiro dia é reparar que enquanto o ambiente não foi ocupado, não houve necessidade do acionamento do sistema de ar condicionado e, portanto, a umidade relativa do ar se manteve. A partir do momento que as crianças entram na sala, 10h 30min, o sistema é requisitado e a umidade relativa cai.

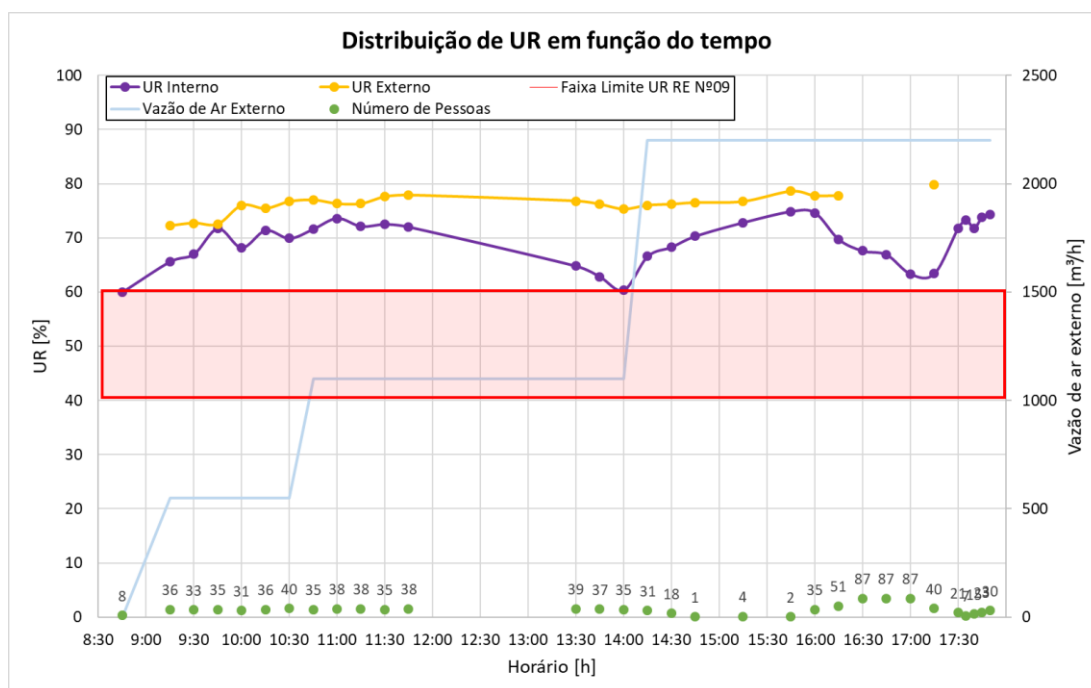


Figura 21 - Distribuição da umidade relativa no segundo dia da oficina de carrinhos de rolimã (22/10/2017).

No segundo dia pode-se ver que a umidade relativa se manteve sempre acima dos limites, isso porque o dia estava chuvoso o que aumentou a umidade tanto interna quanto externa.

5.2. Aulas teóricas

5.2.1. Aula de Termodinâmica II (11/09/2017)

Serão apresentados a seguir os dados coletados durante a aula do Professor Dr. Sílvio Oliveira Júnior.

As medições começaram às 7h00, meia hora antes do início da atividade, e foram tomadas a cada quinze minutos, encerrando-as às 9h30, vinte minutos após o término da aula.

Nos primeiros 45 minutos houve grande movimentação de pessoas, tanto dentro quanto fora da sala.

Os valores medidos foram validados segundo dados da CETESB da estação meteorológica de Pinheiros [11] e verificou-se algumas discrepâncias nas primeiras medições de PM₁₀ feitas durante a aula.

Tabela 14 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (11/09/2017).

	Comparação QUALAR			
	PM ₁₀		TBS	
	POLI	Est. Pinheiros	POLI	Est. Pinheiros
08:00	49	84	22,6	20,1
09:00	72	44	24,9	22,1

5.2.1.1. Concentração de CO₂

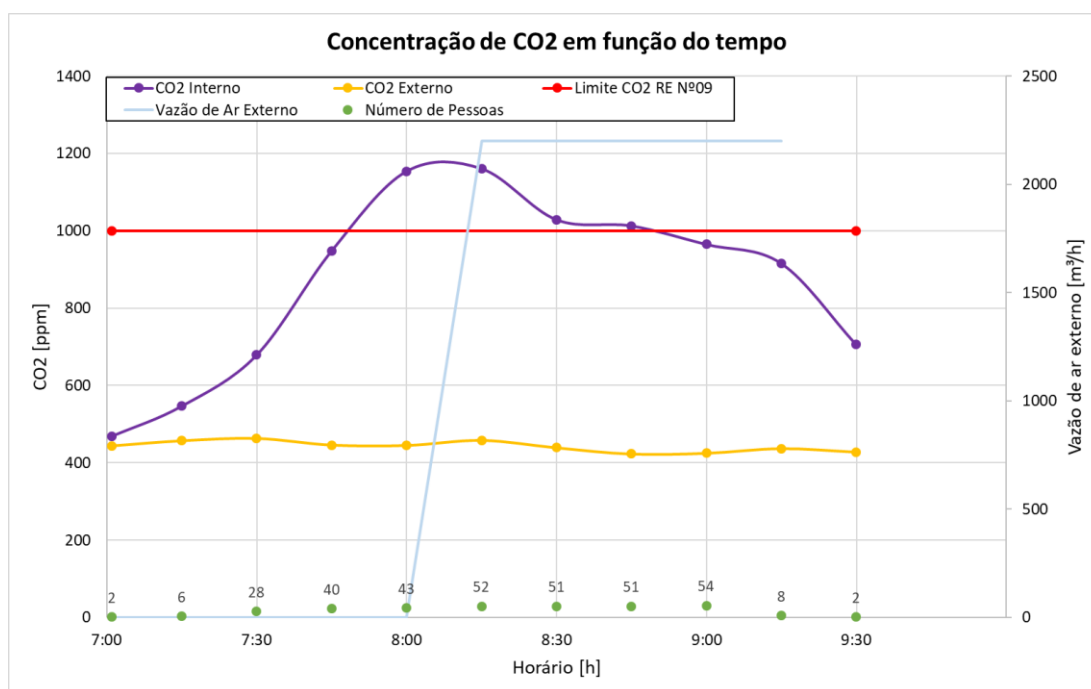


Figura 22 - Concentração de CO₂ na aula do dia 11 de setembro.

No início da aula não havia renovação de ar, o que levou a um acúmulo de CO₂ na sala à medida em que ela começou a ser ocupada. Pode-se observar na Figura 22 que ao ligar o sistema de ventilação, obtendo uma vazão de ar externo por pessoa $Q_{AE} = 42,3 \frac{m^3}{h \text{ pessoa}}$, a concentração do gás começa a cair, ficando rapidamente abaixo dos 1000 ppm regulamentado pelo governo.

5.2.1.2. Concentração de PM₁₀

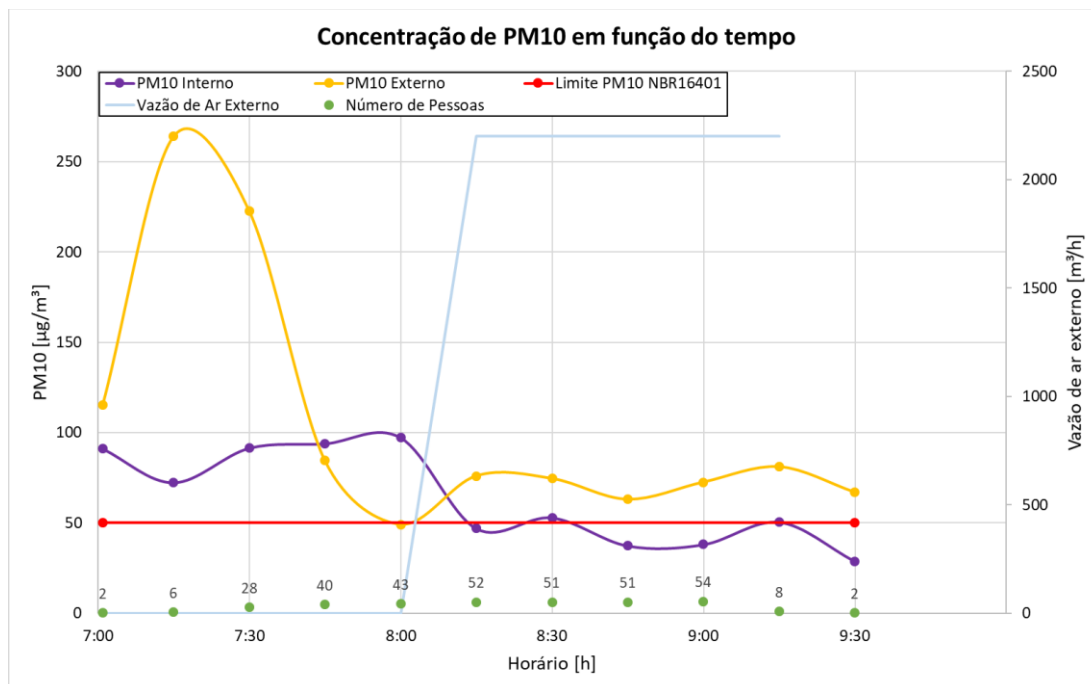


Figura 23 - Concentração de PM₁₀ na aula do dia 11 de setembro.

Como dito no começo da Seção 5.2.1, os primeiros valores medidos de PM₁₀ apresentaram grande divergência dos dados obtidos pela CETESB, portanto os três primeiros pontos podem ser desconsiderados.

Pode-se observar na Figura 23 que assim que o sistema de renovação de ar é ligado a concentração de partículas cai rapidamente, mais uma vez mostrando que o sistema é eficaz na expulsão dos contaminantes.

5.2.1.3. Concentração de PM_{2,5}

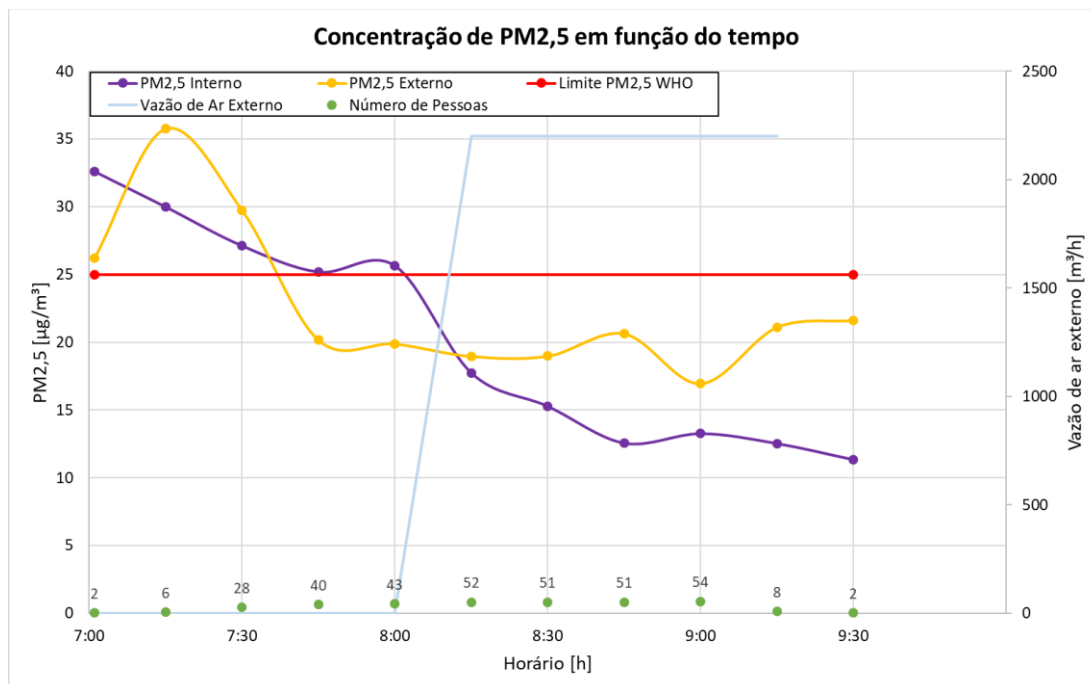


Figura 24 - Concentração de PM_{2,5} na aula do dia 11 de setembro.

Na Figura 24 pode-se observar que a vazão de ar externo, mesmo quando a concentração de partículas é mais alta no lado de fora do prédio, faz com que a quantidade de PM_{2,5} no interior caia, isso devido à filtragem.

5.2.1.4. Temperatura de Bulbo Seco

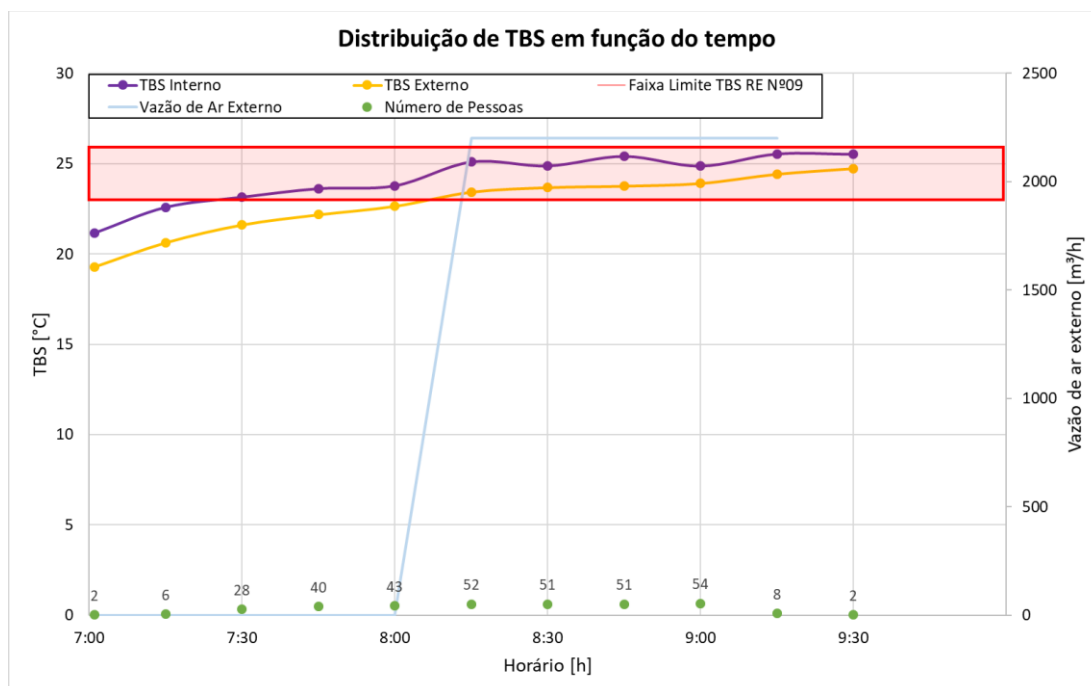


Figura 25 - Distribuição de temperatura na aula do dia 11 de setembro.

A TBS se manteve entre os 24 °C, conforme o sistema foi programado para manter o ambiente. Assim a temperatura se manteve dentro do limite da ANVISA para o verão.

5.2.1.5. Umidade Relativa

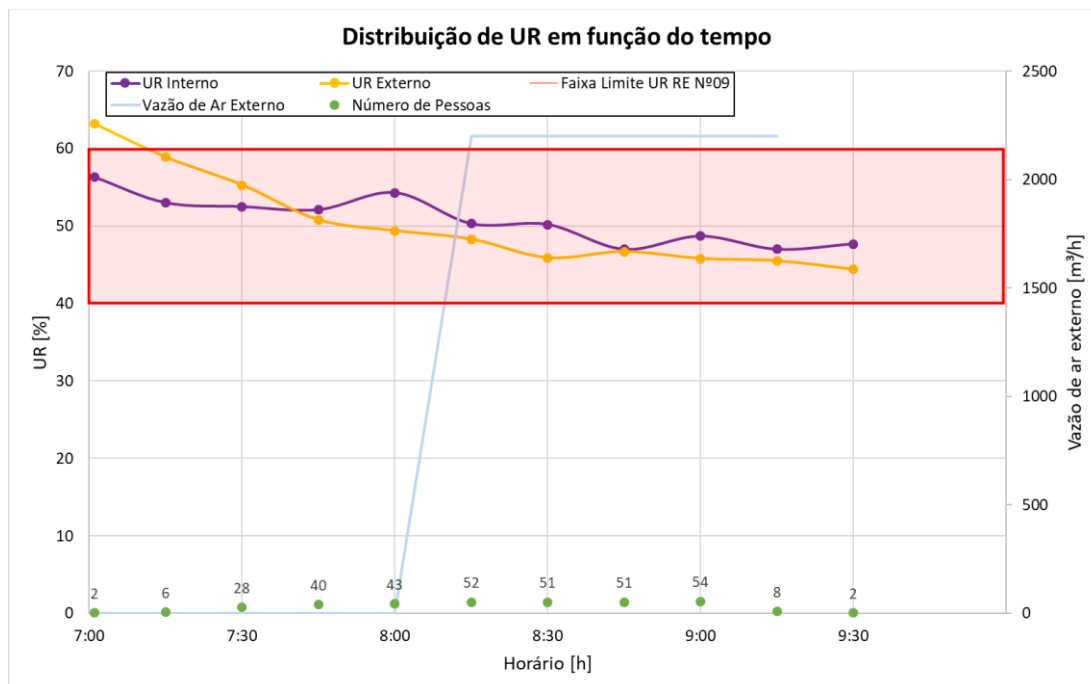


Figura 26 - Distribuição da umidade relativa na aula do dia 11 de setembro.

Pode-se observar na Figura 26 que a umidade relativa se manteve dentro da faixa limite durante todo o período das medições.

5.2.2. Aula de Eletrônica Analógica e Digital (20/10/2017)

Tabela 15 - Comparação dados medidos na POLI com os da Estação Pinheiros da CETESB no dia (20/10/2017).

	Comparação QUALAR			
	PM _{2,5}		TBS	
	POLI	Est. Pinheiros	POLI	Est. Pinheiros
09:00	9,5	6	22,2	21,6
10:00	9,5	5	21,7	23

5.2.2.1. Concentração de CO₂

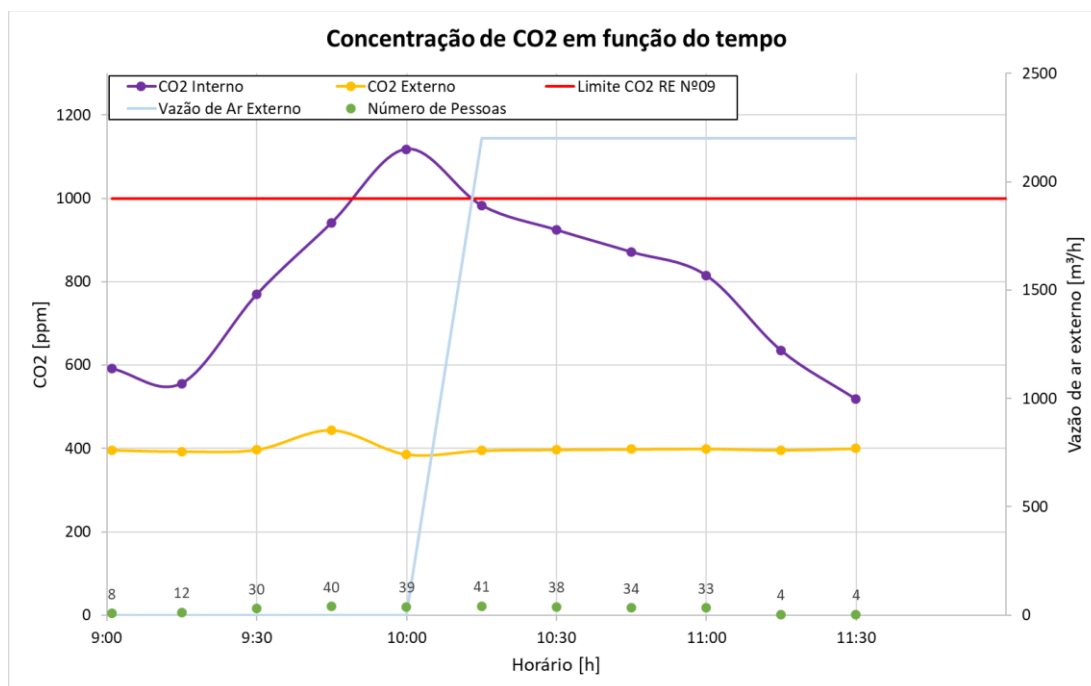


Figura 27 - Concentração de CO₂ na aula do dia 20 de outubro.

A concentração de CO₂ durante a aula de eletrônica analógica e digital do dia 20 de outubro está representada na Figura 27, pode-se ver que assim que a vazão de ar externo é ligada a quantidade do gás diminui rapidamente, voltando para dentro dos limites estipulados pela ANVISA em menos de 15 minutos.

5.2.2.2. Concentração de PM₁₀

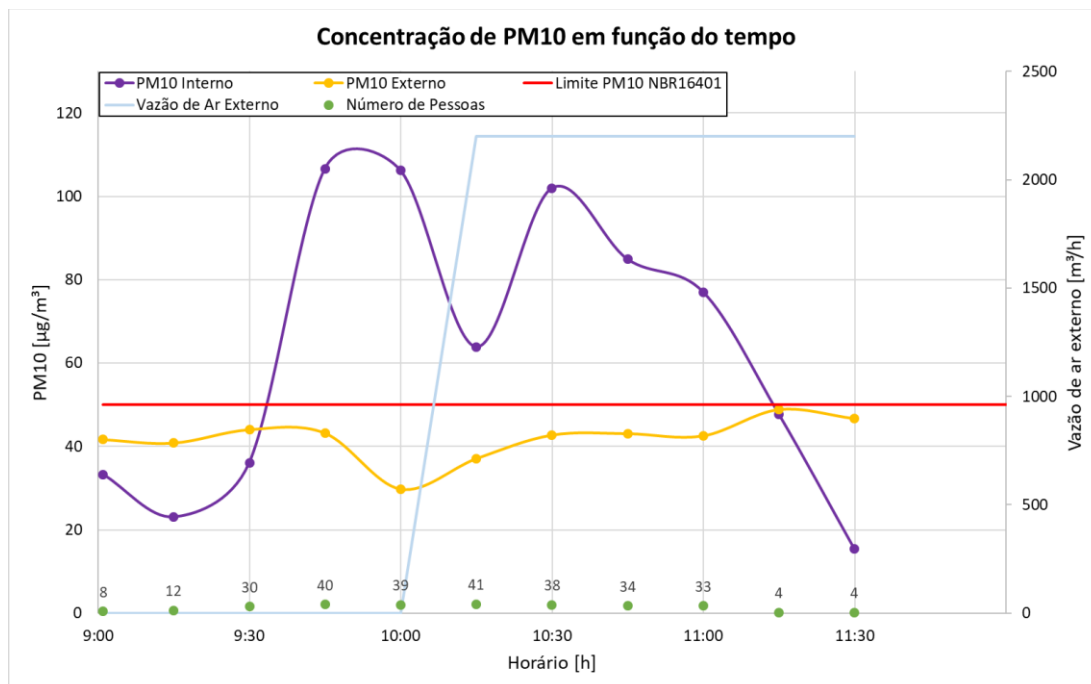


Figura 28 - Concentração de PM₁₀ na aula do dia 20 de outubro.

Observa-se na Figura 28 que a concentração de PM₁₀ teve dois picos um as 9h 45min e outro as 10h 30min.

O primeiro pico é devido a movimentação de entrada na sala e o segundo é devido a utilização da lousa para a aula.

Percebe-se também que assim que a vazão de ar externo é ligada há uma queda na concentração e partículas.

5.2.2.3. Concentração de $PM_{2,5}$

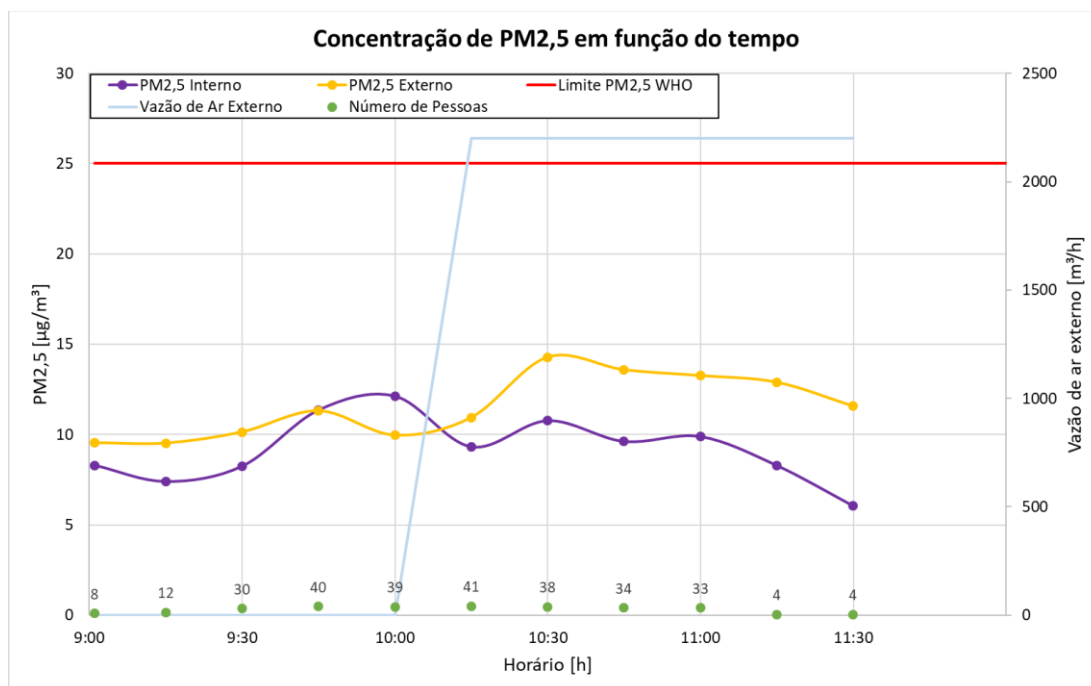


Figura 29 - Concentração de $PM_{2,5}$ na aula do dia 20 de outubro.

Levando em consideração a Figura 24 e Figura 29 pode-se reparar que mesmo durante aulas que se utiliza a lousa a concentração de $PM_{2,5}$ não sobe, o que sugere que a geração deste tipo de particulado é muito pequena durante as aulas.

5.2.2.4. Temperatura de Bulbo Seco

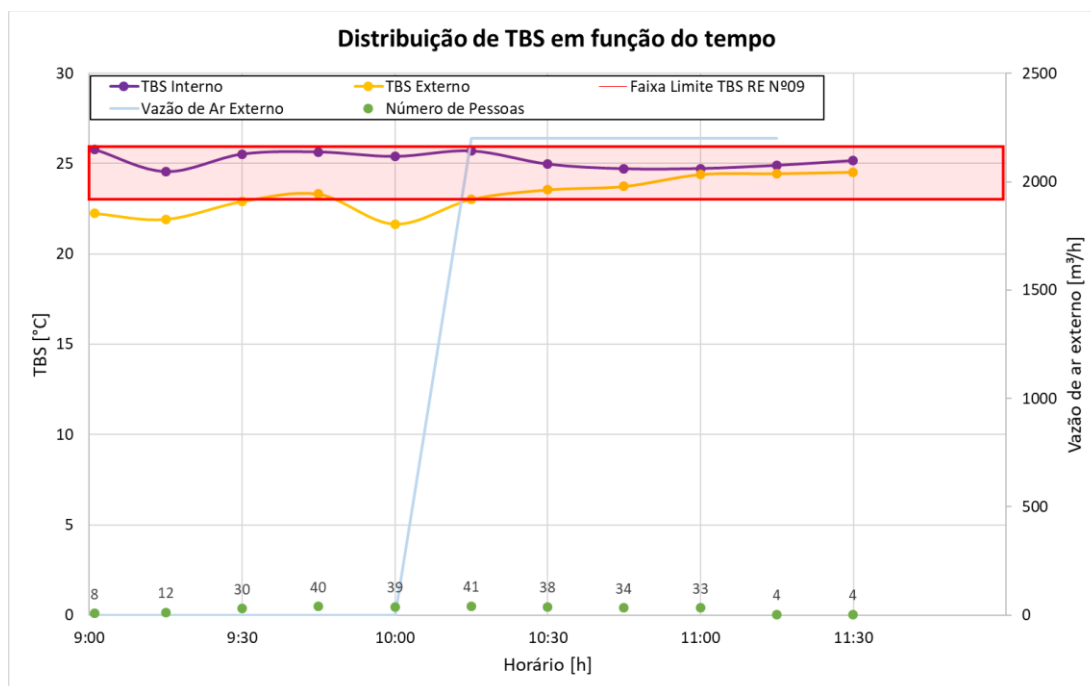


Figura 30 - Distribuição de temperatura na aula do dia 20 de outubro.

A Figura 30 mostra a distribuição da temperatura durante a aula do dia 20 de outubro. Pode-se ver que ela ficou dentro dos limites durante todo o período medido.

5.2.2.5. Umidade Relativa

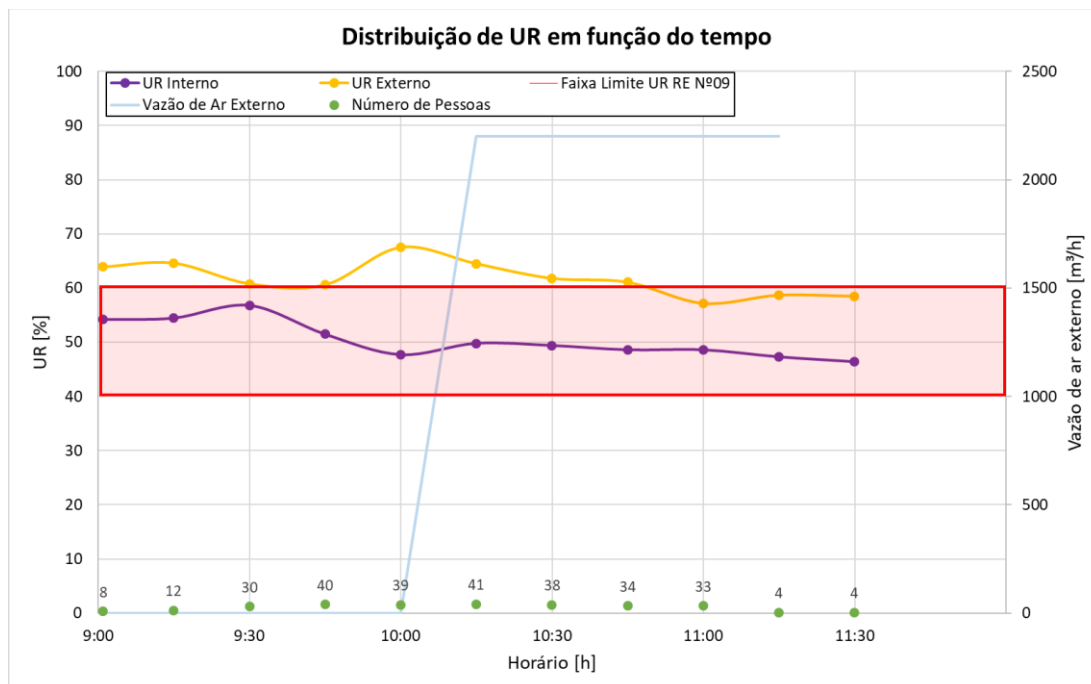


Figura 31 - Distribuição de umidade relativa na aula do dia 20 de outubro.

Observa-se que a umidade relativa se manteve dentro dos limites durante todo o período medido

6. ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1. Análise objetiva da QAI

Para analisar a qualidade do ar interior de forma objetiva serão utilizados os dados apresentados na Seção 5 e serão separados os fatores que mais influenciam nela.

6.1.1. Vazão de ar externo

A primeira análise será como a vazão externa influencia as propriedades do ar do ambiente interno.

Ao analisar a Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 22, Figura 23 e Figura 24 observa-se claramente que ao aumentar a vazão de ar externo a concentração de contaminantes diminui e com isso especula-se três motivos. O primeiro pela diluição dos poluentes gasosos do ar interno com o externo, quando este tem concentrações menores. O segundo é que o aumento da vazão de ar externo traz ar filtrado, diluindo a concentração de contaminantes no ambiente interior e há uma tendência de carregar particulados para fora da sala. E o terceiro é a filtragem do ar externo, para diminuir a quantidade de poluentes e assim poder ajudar nos dois motivos anteriores.

6.1.2. Número de pessoas

No início das medições da aula teórica de 11 de setembro, a sala A2 esteve desocupada durante o recesso de uma semana e também se manteve com suas janelas abertas. Este fato mostrou que o ar interno estava praticamente igual ao externo.

À medida em que a movimentação de pessoas aumentou do lado de fora do prédio, a concentração de partículas em suspensão no ambiente externo também cresceu, enquanto no interno se manteve até a sala começar a ser ocupada.

O principal contaminante que é influenciado pela quantidade de ocupantes é a quantidade de CO₂ presente na sala, que aumenta rapidamente se não houver renovação do ar.

Mas o número de pessoas é tão importante para a QAI, quanto qual é a atividade que elas estão realizando, o que leva ao próximo item.

6.1.3. Atividade realizada na sala

Ao analisar os dados medidos em atividades práticas e teóricas fica claro que o tipo de atividade realizada no local influencia muito nas características do ar interior.

Se for uma atividade prática, com alta movimentação e geração de material particulado, o PM_{10} e o $PM_{2,5}$ serão muito mais altos do que durante a aula onde o professor esporadicamente escreve algo na lousa.

A quantidade de dióxido de carbono dentro da sala também depende do tipo de atividade, uma vez que na prática a taxa metabólica dos ocupantes será muito maior do que na aula, onde o aluno fica sentado.

6.1.4. Concentração de contaminantes no ar externo

Como dito na Seção 6.1.1, a quantidade de poluentes presente no ar externo influencia diretamente na QAI, uma vez que a renovação de ar pode levar mais poluentes para dentro do ambiente condicionado.

Em um prédio próximo de uma avenida movimentada há grandes chances da concentração de monóxido e dióxido de carbono do lado de fora seja mais alta do que do lado de dentro. E isso impediria o sistema de diluir os poluentes interiores.

A mesma coisa ocorre se o ar externo tiver grandes concentrações de material particulado, que mesmo com o filtro ainda penetra a sala.

6.2. Análise subjetiva da QAI

Realizou-se um questionário, Anexo B, com 68 alunos do Departamento da Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo na data 02/12/2016, cujos resultados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 16 - Resultados do questionário.

1. Como você descreveria a qualidade do ar nesse local?				
Adequado	Parado	Pesado	Abafado (viciado)	-----
66,2%	20,6%	2,9%	13,2%	-----
2. Descreva a temperatura usual nesse local:				
Adequada	Muito fria	Muito quente	As vezes muito fria, as vezes muito quente	-----
64,7%	2,9%	2,9%	29,4%	-----
3. Você fica frequentemente incomodado (a) com correntes de ar?				
Sim	Não	-----	-----	-----
8,8%	91,2%	-----	-----	-----
4. Você se sente incomodado (a) como cheiro/ odor desse local?				
Sim	Não	-----	-----	-----
39,7%	60,3%	-----	-----	-----
Frequência de odores				
Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente	Todo o tempo	-----
4,4%	32,4%	7,4%	0,0%	-----
Qual dos tipos abaixo descreve esse (s) cheiro (s)?				
Fumaça de carros	Cigarro	Cheiro de sistemas AVAC	Mofo	-----
4,4%	4,4%	5,9%	20,6%	-----
Odores humanos (corporais)	Produtos químicos	Cimento	Esgoto	-----
20,6%	4,4%	2,9%	17,6%	-----
5. Você tem histórico de alergias?				
Sim	Não	-----	-----	-----
52,9%	47,1%	-----	-----	-----
Tipo de alergia				
Respiratória	Pele	Alimentos	Ocular	Outras
48,5%	17,6%	7,4%	4,4%	0,0%
Onde sua alergia piora?				
Casa	Poli	Rua	Outros	-----
10,3%	20,6%	11,8%	19,1%	-----

Continuação – Tabela 7

6. Qual dos sintomas abaixo você sofre e que você acha que pode estar relacionada ao ar desse local?				
Dor de cabeça	Cansaço	Fraqueza	Dificuldade para respirar	-----
8,8%	7,4%	1,5%	11,8%	-----
Secura nos olhos	Espirros	Lacrimejamento	Coceira nos olhos	-----
23,5%	35,3%	2,9%	19,1%	-----
Visão embaçada	Coriza	Asma	Garganta seca	-----
2,9%	23,5%	1,5%	23,5%	-----
Tosse	Nariz entupido	Dor de garganta	Irritação na pele	Outro
13,2%	30,9%	4,4%	4,4%	2,9%
7. A que horas do dia você acredita que suas queixas pioram?				
Manhã	Tarde	É o mesmo durante todo o dia	-----	-----
27,9%	30,9%	22,1%	-----	-----
Em que dia da semana suas queixas são piores?				
Segunda-feira	Meio da semana	Sexta-feira	Final de semana	Igual durante toda semana
7,4%	7,4%	7,4%	4,4%	52,9%
Em qual estação do ano suas queixas pioram?				
Primavera	Verão	Outono	Inverno	O mesmo durante todo o ano
13,2%	20,6%	8,8%	42,6%	10,3%
Os sintomas coincidem com dias de limpeza/manutenção				
Sim	Não	Não responderam	-----	-----
2,9%	75,0%	22,1%	-----	-----

Observação: Sintomas e odores que não receberam nenhum voto foram excluídos da tabela, de forma a deixá-la mais enxuta.

6.3. Conclusões

As medições mostraram que a qualidade do ar interior depende de múltiplos parâmetros, como atividade desempenhada na sala, concentração de poluentes no ar exterior, vazão de ar externa, entre outros.

A temperatura de bulbo seco e a umidade relativa mostraram-se dois parâmetros muito bem controlados em todas as medições, mesmo não havendo um dispositivo responsável por controlar a umidade e, portanto, em termos de conforto térmico pode-se afirmar que o sistema está adequado e atende a todas as normas brasileiras e as demandas da sala.

Há caos nos experimentos em que as concentrações de particulado e de CO₂ superam os valores indicados como limites, e devem ser analisados separadamente.

Ao analisar o CO₂, a primeira conclusão que se tira é que se pode considerar a concentração do gás no ambiente externo, da POLI, como constante e igual a 400 ppm, percebe-se também que sua concentração é mais sensível a quatro parâmetros: vazão de ar externo, concentração de dióxido de carbono no ar externo, número de ocupantes no ambiente e atividade realizada na sala.

Ao comparar os valores obtidos durante atividades práticas e teóricas, pode-se ver, Tabela 17 e Tabela 18, como esses parâmetros se relacionam e interferem na concentração de CO₂. De forma que a quantidade do gás tende a aumentar com o aumento do número de ocupantes, uma vazão de ar externo não apropriada e uma atividade que cause altas taxas metabólicas.

Tabela 17 - Condições da sala no ponto de máxima concentração de CO₂.

Condições no ponto de máxima concentração				
Atividade		Concentração [ppm]	Ocupantes	Vazão de ar externo [m ³ /h]
Oficina de Brinquedos		1365	70	1100
Oficina de Carrinhos de Rolimã	Dia 1	1406	44	1100
	Dia 2	1424	40	550
Aula dia 11/09/2017		1154	43	0
Aula dia 20/10/2017		1118	39	0

Tabela 18 - Condições da sala 15 minutos após o ponto de máxima concentração de CO₂.

Condições após 15 minutos do ponto de máxima concentração				
Atividade		Concentração [ppm]	Ocupantes	Vazão de ar externo [m ³ /h]
Oficina de Brinquedos		1213	70	2200
Oficina de Carrinhos de Rolimã	Dia 1	-	-	-
	Dia 2	1409	38	1100
Aula dia 11/09/2017		1029	51	2200
Aula dia 20/10/2017		983	41	2200

Para melhor analisar a influência da vazão de ar externo na concentração e CO₂ montou-se a Tabela 19 comparando os valores antes e depois do aumento da vazão do ar exterior.

Tabela 19 – Comparação entre a concentração de CO₂ no momento antes do aumento da vazão de ar externo e uma hora depois.

Atividade		Antes do aumento de vazão		60 minutos após o aumento		% entre início e fim	
		Vazão inicial [m ³ /h]	Concentração [ppm]	Vazão final [m ³ /h]	Concentração [ppm]	Vazão	Concentração
Oficina de Brinquedos		1100	1365	2200	1200	200%	88%
Oficina de Carrinhos de Rolimã	Dia 1	1100	1190	2200	980	200%	82%
	Dia 2	550	1425	1100	1350	200%	95%
Aula dia 11/09/2017		0	1150	2200	965	-	84%
Aula dia 20/10/2017		0	1120	2200	815	-	73%
Oficina de Brinquedos *		1100	900	1650	810	150%	90%
Oficina de Carrinhos de Rolimã *	Dia 1	1100	1000	2200	800	200%	80%
	Dia 2	1100	1250	2200	930	200%	74%
Aula dia 17/08/2016 *		1100	1190	2200	950	200%	80%
Aula dia 19/08/2016 *		1100	1750	2200	1300	200%	74%
* Dados retirados da tese de Fakhoury [10]							

Na Tabela 19 observa-se que o aumento da taxa de renovação de ar foi o suficiente para trazer melhoras significativas na quantidade do gás no ambiente interno.

Ao analisar o particulado percebe-se que ele é mais sensível ao tipo de atividade realizada na sala e à vazão de ar externo. Para verificar como estes

parâmetros influenciam na quantidade de partículas em suspensão montou-se a Tabela 20.

Tabela 20 - Comparação entre a concentração de particulado no momento antes do aumento da vazão de ar externo e uma hora depois.

Atividade		Antes do aumento de vazão			60 minutos após o aumento			% entre início e fim		
		Vazão inicial	PM10 [µg/m³]	PM2,5 [µg/m³]	Vazão final	PM10 [µg/m³]	PM2,5 [µg/m³]	Vazão	PM10	PM2,5
Oficina de Brinquedos		1100	1090	42	2200	150	9,8	200%	14%	23%
Oficina de Carrinhos de Rolimã	Dia 1	1100	175	18	2200	112	19	200%	64%	106%
	Dia 2	550	100	10	1100	11	8	200%	11%	80%
Aula dia 11/09/2017		0	97	25	2200	38	13	-	39%	52%
Aula dia 20/10/2017		0	106	12	2200	77	10	-	73%	83%
Oficina de Brinquedos *		1100	700	27	1650	90	7	150%	13%	26%
Oficina de Carrinhos de Rolimã *	Dia 1	1100	260	7	2200	70	9	200%	27%	129%
	Dia 2	1100	345	13	2200	100	6	200%	29%	46%
Aula dia 19/08/2016 *		1100	70	16	2200	65	18	200%	93%	113%
* Dados retirados da tese de Fakhoury [10]										

Assim como no caso do CO₂, a Tabela 20, mostra que o aumento da renovação de ar leva a uma queda significativa na concentração de particulado no ambiente interior.

Analisando as Tabela 19 e Tabela 20 conclui-se que mesmo respeitando a legislação brasileira, ou seja, utilizando valores próximos a 27m³/h de ar externo por pessoa na sala, exigido por lei pela ANVISA [7] e em alguns casos utilizando uma vazão maior e utilizando um sistema de filtragem de ar externo adequado, nem sempre é possível manter a concentração de contaminantes dentro dos limites especificados na Seção 3.2.3, mas em nenhum momento há superação destes limites em níveis considerados críticos ou emergenciais. Requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos à QAI, uma vez que a concentração de poluentes dentro do ambiente interno depende de múltiplos fatores.

7. REFERÊNCIAS

1. ABNT. **NBR 10152 - Níveis de ruído para conforto acústico**. ABNT. Rio de Janeiro, p. 4. 1987.
2. ABNT. **NBR16401 - 3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior**. ABNT. Rio de Janeiro, p. 24. 2008. (ABNT NBR 16401-3:2008).
3. ASHRAE. **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. ANSI/ASHRAE. Tullie Circle, p. 56. 2016. (ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004).
4. WHO. **WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. World Health Organization. [S.l.]. 2005.
5. GUSTAVSSON, J. et al. **Filtragem de Ar nos Sistemas de AVAC**. Lisboa: REHVA, 2011. 15-28 p.
6. BRILIH, N. et al. **Projeto de Sistemas de Ventilação e Ar-Condicionado Energeticamente Eficientes (Manual REHVA N.º 17)**. Lisboa: REHVA, 2013.
7. ANVISA. **RESOLUÇÃO - RE Nº 9**. ANVISA. [S.l.]. 2003.
8. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA Nº 3.523**. Ministério da Saúde. Brasília. 1998.
9. COSTA, C. M. P. **Estudo da Qualidade do Ar Interior num edifício departamental da UC**. Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 73. 2011.
10. FAKHOURY, N. A. **ESTUDO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM AMBIENTES**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 201. 2017.
11. CETESB. Sistema de Informações da Qualidade do Ar. **QUALAR**. Disponível em: <<http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>>. Acesso em: Outubro 2017.
12. JANSSEN, J. E. The History of Ventilation and Temperature Control. **ASHRAE JOURNAL**, Outubro 1999. 47-52.

13. PORTAL EA. Notícia - Portal EA. **Portal EA**, 2012. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitetura.com.br/noticias/562/O-direito-de-respirar-um-ar-limpo.aspx>>. Acesso em: 18 Outubro 2016.
14. MARIANI, A. L. D. C. **QUALIDADE DO AR INTERNO: MITOS E VERDADES**. CONBRAVA. São Paulo. 2003.
15. CEN. **Particulate air filter for general ventilation - Determination of the filtration performance**. CEN. [S.l.]. 2002. (EN 779:2002).

ANEXO A - Questionário relativo à qualidade do ar

Qual o local do prédio onde você passa a maior parte do tempo?

Localização: _____

1. Como você descreveria a qualidade do ar nesse local?

☐ adequado ☐ parado ☐ pesado ☐ abafado (viciado)

2. Descrever a temperatura usual nesse local:

☐ adequada ☐ muito quente ☐ muito fria ☐ algumas vezes muito fria, algumas vezes muito quente

3. Você fica frequentemente incomodado (a) nesse local com correntes de ar?

☐ sim ☐ não

4. Você se sente incomodado (a) com o cheiro/odor desse local?

☐ sim ☐ não

Se sim, com qual frequência sente esse cheiro?

☐ raramente ☐ ocasionalmente ☐ frequentemente ☐ todo o tempo

Qual dos tipos abaixo descreve esse (s) cheiro (s)?

☐ fumaça de carros ☐ cigarro ☐ cheiro de queimado ☐ tinta
☐ cheiro de sistemas de aquecimento (ar-condicionado) ☐ mofo
☐ odores humanos (corporais) ☐ produtos químicos ☐ algum solvente
☐ cimento ☐ esgoto ☐ cheiro de óleo

O que você acha que causa este cheiro?

5. Você tem histórico de alergias? ☐ sim ☐ não

Se sim, o tipo de alergia é:

☐ respiratória ☐ pele ☐ alimentos ☐ ocular ☐ outra

Onde sua alergia piora?

☐ casa ☐ poli ☐ rua ☐ outros

6. Qual dos itens abaixo que você sofre e que você acha que pode estar relacionado ao ar desse local?

☐ dor de cabeça ☐ cansaço ☐ fraqueza ☐ dificuldade para respirar
☐ secura nos olhos ☐ espirros ☐ náusea ☐ lacrimejamento
☐ visão embaçada ☐ coriza ☐ asma ☐ problemas no estômago
☐ garganta seca ☐ tosse ☐ nariz entupido ☐ dor de garganta
☐ coceira nos olhos ☐ irritação na pele ☐ outro

7. A que horas do dia você acredita que suas queixas pioram?

☐ manhã ☐ tarde ☐ é o mesmo durante todo o dia

Em que dia da semana suas queixas são piores?

☐ segunda-feira ☐ meio da semana ☐ sexta-feira ☐ final de semana

☐ igual durante toda a semana

Em que estação do ano suas queixas pioram?

☐ primavera ☐ verão ☐ outono ☐ inverno

☐ o mesmo durante todo o ano

Os sintomas que você sente coincidem com a hora de limpeza ou manutenção dessa área?

☐ sim ☐ não

Se sim, descreva essa atividade:

Outros comentários:

ANEXO B – Tabela de dados medidos

Tabela B.1. – Dados coletados no dia 10/06/2017.

Data: 10/06/2017															
Sala A2															
Horário	CO2 [ppm]		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		TBS [°C]		UR [%]		N° de pessoas	Vazão [m^3/h]	ABNT Nível 3 [m^3/h]	Portaria 3523 MS [m^3/h]	Comentários
	Inter-no	Exter-no	Inter-no	Exter-no	Inter-no	Exter-no	Inter-no	Exter-no	Inter-no	Exter-no					
10:30	506	402	17,6	9,3	3,9	5,4	21,9	16,1	47,6	58,2	6	550	793	162	Unidade 3 ligada
10:40	507	404	979	8,8	47,5	4,9	21	16	49,9	58,9	6	550	793	162	10h35 Início corte de madeira
10:50	496	398	966,3	20,3	47,4	9,1	21,7	15,4	48,2	57,6	6	550	793	162	Lixamento
11:00	584	399	836,2	19,4	53	8,6	21,3	17	49,6	55	8	550	847	216	furação
11:10	583		412,3		39,3		21,6		49,9		7	550	820	189	furação
11:20	594	398	424,5	26,6	33,8	9,5	22,4	17,5	47,1	54,6	10	550	901	270	furação
11:30	630		266,3		24,7		22,7		49,9		8	550	847	216	montagem
11:40	810	398	258,6	16,8	21,2	5,2	23,3	17,7	46,8	50,4	65	550	2386	1755	entrada das crianças
11:50	1050		286,4		20,4		23,2		51,2		70	550	2521	1890	aula teórica
12:00	1160	400	195,4	15,5	16,8	6,5	23,8	17,1	47,6	52,2	70	1100	2521	1890	11h52 unidade 2 ligada
12:10	1260		172		12,8		23,5		48		70	1100	2521	1890	
12:20	1250	400	136,1	16,1	10,6	6,6	24,3	18,3	46,2	46,6	70	1100	2521	1890	
12:30	1264		108,6		9,3		23,5		47,9		70	1100	2521	1890	
12:40	1250	414	154,3	29,7	9,9	8,1	24,4	18,3	45,1	46,5	35	1100	1576	945	saída das crianças
14:10	815	405	98,6	16,16	6	4,4	23,6	18,9	40,3	45,5	70	1100	2521	1890	todos sentados
14:20	996		112,2		7,2		22,6		44,5		70	1100	2521	1890	atividade e movimentação média

Continuação Tabela B.1. – Dados coletados no dia 10/06/2017.

14:30	1097	428	438,4	15,8	12,4	3,5	24,1	20	41,7	41,4	70	1100	2521	1890	Lixação madeira
14:40	1280		1319		46,5		23,5		44,7		70	1100	2521	1890	Lixação madeira
14:50	1365	411	1093	13,5	42,1	3,3	24,1	19,7	44,6	37,7	70	1100	2521	1890	Lixação madeira
15:00	1213		732,8		32,6		23,7		44,5		70	2200	2521	1890	Lixação, pouca
15:10	1183	398	377,2	14,9	20,72	3,6	23,8	19,6	43	37,8	70	2200	2521	1890	Fixação com parafusadeira e movimentação média
15:20	1184		245,5		13,4		23,4		42,5		70	2200	2521	1890	Movimentação média
15:30	1180		180,3		10		23,5		41,5		70	2200	2521	1890	atividade média
15:40	1165	404	211,8	13,61	14,2	3,8	23,3	19,2	41,8	36,3	70	2200	2521	1890	Furação + cortes
15:50	1130		149,5		9,8		22,5		43		70	2200	2521	1890	
16:00	1153		146,6		8,6		23,4		41,2		70	2200	2521	1890	
17:00	1180	422	167,4	16,7	8	4,3	22,9	18,7	43,3	40,6	70	2200	2521	1890	Furação + montagem

Tabela B.2. – Dados coletados no dia 11/09/2017.

Data: 11/09/2017															
Sala: A2															
Horário	CO2 [ppm]		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		TBS [°C]		UR [%]		N° de pessoas	Vazão [m^3/h]	ABNT Nível 3 [m^3/h]	Portaria 3523 MS [m^3/h]	Comentários
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo					
7:01	469	444	91,12	115,43	32,61	26,21	21,15	19,29	56,3	63,2	2	0	685	54	As janelas estavam abertas ao entrar na sala, os sistemas desligados. As 7h10 os sistemas de ar condicionado foram ligados
7:15	547	457	72,41	263,92	29,99	35,75	22,58	20,63	53	58,9	6	0	793	162	Alta movimentação externa de pessoas e carros.
7:30	679	463	91,48	222,8	27,12	29,73	23,14	21,61	52,5	55,3	28	0	1387	756	Bastantes alunos chegando na sala e no prédio(externo)
7:45	948	446	93,94	84,52	25,19	20,16	23,61	22,17	52,1	50,8	40	0	1711	1080	Começo da aula as 7h35, diminuição da movimentação de pessoas
8:00	1154	445	97,32	49,14	25,65	19,89	23,77	22,64	54,3	49,4	43	0	1792	1161	
8:15	1161	458	47	76,01	17,74	18,97	25,09	23,42	50,3	48,3	52	2200	2035	1404	sistema de renovação ligado as 8h logo após as medições
8:30	1029	439	53	74,57	15,28	18,99	24,87	23,67	50,2	45,9	51	2200	2008	1377	
8:45	1013	423	37,42	63,05	12,56	20,64	25,4	23,75	47	46,7	51	2200	2008	1377	
9:00	965	425	38,12	72,54	13,26	16,96	24,86	23,9	48,7	45,8	54	2200	2089	1458	
9:15	916	437	50,56	81,08	12,53	21,11	25,53	24,41	47	45,5	8	2200	847	216	movimentação de fim de aula, alunos levantando e saindo
9:30	706	428	28,89	66,98	11,34	21,63	25,51	24,72	47,7	44,4	2	2200	685	54	

Tabela B.3. – Dados coletados no dia 20/10/2017.

Data: 20/10/2017															
Sala: A2															
Horário	CO2 [ppm]		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		TBS [°C]		UR [%]		N° de pessoas	Vazão [m^3/h]	ABNT Nível 3 [m^3/h]	Portaria 3523 MS [m^3/h]	Comentários
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo					
9:01	591	396	33,3	41,63	8,3	9,54	25,79	22,24	54,2	63,9	8	0	847	216	A sala estava com duas janelas abertas e já haviam 7 alunos presentes quando entrei na sala
9:15	556	393	23,06	40,8	7,4	9,52	24,55	21,91	54,45	64,6	12	0	955	324	Equipamentos de Ar condicionado ligados as 9h05
9:30	769	397	36,03	44,04	8,25	10,14	25,53	22,9	56,8	60,8	30	0	1441	810	Aula começou as 9h20, professor escrevendo na lousa
9:45	941	443	106,64	43,21	11,36	11,31	25,65	23,31	51,5	60,6	40	0	1711	1080	professor apagou a lousa durante as medições
10:00	1118	386	106,2	29,69	12,13	9,96	25,4	21,65	47,7	67,5	39	0	1684	1053	Renovação de ar ligada após medições das 10h
10:15	983	395	63,86	37,01	9,32	10,94	25,71	23,02	49,8	64,5	41	2200	1738	1107	
10:30	924	397	101,95	42,73	10,77	14,28	24,97	23,55	49,4	61,8	38	2200	1657	1026	
10:45	871	398	84,91	43,07	9,62	13,58	24,71	23,74	48,6	61,1	34	2200	1549	918	
11:00	815	399	77,05	42,54	9,89	13,26	24,72	24,4	48,6	57,2	33	2200	1522	891	acabou a aula
11:15	635	396	47,74	48,89	8,29	12,89	24,9	24,45	47,3	58,7	4	2200	739	108	
11:30	518	400	15,36	46,73	6,05	11,57	25,17	24,53	46,4	58,5	4	2200	739	108	

Tabela B.4. – Dados coletados no dia 21/10/2017.

Data: 21/10/2017															
Sala: A2															
Horário	CO2 [ppm]		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		TBS [°C]		UR [%]		N° de pessoas	Vazão [m^3/h]	ABNT Nível 3 [m^3/h]	Portaria 3523 MS [m^3/h]	Comentários
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo					
8:00	428		19,01		13,83		23,54		68,3		1	0	658	27	Condição inicial da sala, logo depois de ser aberta
9:00	474	410	34,54	30,63	12,36	12,47	23,73	22,66	67,7	70	1	550	658	27	Leve arrumação da sala, movimentação de algumas mesas e cadeiras, sistema de ar condicionado ligado as 9h
9:30	455	397	13,89	29,42	7,75	13,1	24,22	22,88	65,2	64,2	1	550	658	27	Apresentação para crianças em outra sala
9:45	457	425	12,8	32,01	6,99	14,16	24,27	23,02	64,1	65,1	1	550	658	27	Apresentação para crianças em outra sala
10:00	453	428	10,75	43,61	6,48	16,27	24,44	23,21	63,1	65,4	1	550	658	27	Apresentação para crianças em outra sala e pessoas fumando no estacionamento
10:15	515	406	23,85	40,81	7,03	16,63	24,69	23,37	62,4	61,9	21	550	1198	567	Crianças e monitores entram na sala
10:30	733	396	50,22	34,42	8,45	14,64	24,31	23,67	62,7	61,17	36	550	1603	972	Alta movimentação de pessoas
10:45	1003	392	67,31	33,55	9,1	15,14	24,64	23,74	52,4	61	40	550	1711	1080	Alta movimentação de pessoas
11:00	1234	439	67,41	35,51	9,14	15,17	24,46	24,03	50,1	59,6	40	550	1711	1080	Alta movimentação de pessoas
11:15	1334	450	58,69	43,01	9,15	18,36	24,83	23,87	52,9	62,9	41	1100	1738	1107	Alta movimentação de pessoas

Continuação Tabela B.4. – Dados coletados no dia 21/10/2017.

11:30	1379	436	63,42	39,65	9,66	17,71	24,78	23,74	51,6	62,9	47	1100	1900	1269	
11:45	1365	419	58,39	46,27	10,36	21,26	24,55	23,84	50,3	62,9	44	1100	1819	1188	
12:00	1406	489	69,3	44,05	10,67	20,89	24,63	24,08	50,4	60,4	44	1100	1819	1188	Saída para o almoço
13:30	510	406	11,71	57,22	10	27,22	24,86	24,8	53,6	59,5	1	1100	658	27	Volta do almoço e atividade fora da sala
14:15	512	409	29,61	55,1	12,05	25,37	23,83	24,83	56,8	61,8	24	1100	1279	648	Entrada das crianças da atividade fora de sala
14:30	724	399	48,4	58,44	13,83	27,56	24,75	25,29	53,6	59,2	31	1100	1468	837	
14:45	871	419	76,47	71,2	14,49	30,52	24,85	25,22	51,1	58,3	32	1100	1495	864	Lixação média, chuva leve
15:00	958	433	119,38	73,33	15,83	30,19	24,61	24,41	50,1	62,2	34	1100	1549	918	Lixação média
15:15	1131	416	121	75,25	12	34,74	24,55	24,96	50,6	59,8	37	1100	1630	999	Lixação média e furação leve
15:30	1173	431	173,36	73,36	17,97	33,77	24,61	24,84	50,64	59,9	41	1100	1738	1107	Após as medições, aumentou-se a vazão de ar externo
15:45	1033	431	131,6	78,31	18,91	32,12	24,95	24,78	52,12	60,4	44	2200	1819	1188	Lixação e furação
16:00	1016	421	136,27	70,9	19,3	34,04	24,85	25,03	52,66	58	39	2200	1684	1053	Lixação e furação
16:15	988	438	118,02	68,39	20	29,42	24,81	24,74	51	58,5	33	2200	1522	891	
16:30	978	432	112,39	69,35	19,22	31,07	24,97	24,67	51,2	58,7	34	2200	1549	918	Encerramento do dia
16:45	909		106,72		17,94		24,9		50,9		16	2200	1063	432	Crianças saindo da sala

Tabela B.5. – Dados coletados no dia 22/10/2017.

Data: 22/10/2017															
Sala: A2															
Horário	CO2 [ppm]		PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		PM2,5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		TBS [°C]		UR [%]		N° de pessoas	Vazão [m^3/h]	ABNT Nível 3 [m^3/h]	Portaria 3523 MS [m^3/h]	Comentários
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo					
8:45	534		30,51		15,85		24,17		60		8	0	847	216	
9:15	657	411	46,94	26,68	9,98	13,92	24,16	21,98	65,6	72,2	36	550	1603	972	Crianças chegaram as 9h e as atividades começaram as 9h15
9:30	778	414	64,99	22,96	9,57	12,54	24,45	22,08	67	72,7	33	550	1522	891	Diminuída a vazão, atividades de lixamento
9:45	928	415	114,39	23,53	11,88	13,37	22,36	22,21	71,7	72,5	35	550	1576	945	Configurou-se o setpoint do ar condicionado para 22°C
10:00	1079	449	106,13	24,05	11,86	11,7	22,75	21,26	68,2	76	31	550	1468	837	
10:15	1245	466	108,95	23,51	11,62	11,42	22,82	21,17	71,37	75,4	36	550	1603	972	
10:30	1424	450	215,88	27,83	13,84	11,86	23,05	21,3	69,9	76,7	40	550	1711	1080	Montagem dos carrinhos, atividades de usinagem e lixamento
10:45	1430	459	184,81	25,32	13,5	11,77	23,07	21,03	71,61	77	35	1100	1576	945	
11:00	1409	466	147,61	24,6	12,5	11,92	23,14	21,3	73,6	76,3	38	1100	1657	1026	
11:15	1376	431	109,28	26,64	11,12	12,84	23,04	21,39	72,11	76,3	38	1100	1657	1026	
11:30	1347	431	90,83	24,74	10,04	11,5	23,16	20,88	72,5	77,6	35	1100	1576	945	
11:45	1227	447	90,02	26,66	9,74	12,15	22,74	21,09	72	77,9	38	1100	1657	1026	Saída para o almoço
13:30	798	431	83,93	36,57	9,91	17,93	23,26	22,21	64,8	76,8	39	1100	1684	1053	Volta do almoço as 13h20
13:45	931	461	73,99	36,09	10,03	15,8	23,1	22,03	62,83	76,2	37	1100	1630	999	
14:00	967	417	100,18	31,71	10,04	19,12	23,12	22,08	60,4	75,3	35	1100	1576	945	Uso intenso de grosas

Continuação Tabela B.5. – Dados coletados no dia 22/10/2017.

14:15	951	442	104,86	28,31	10,75	13,72	23,67	21,83	66,6	76	31	2200	1468	837	
14:30	898	429	83,96	31,04	9,92	13,05	23,37	21,64	68,29	76,2	18	2200	1117	486	
14:45	686	425	34,17	43,23	8,35	13,21	23	22	70,3	76,5	1	2200	658	27	Saída das crianças para pintura dos carrinhos
15:15	494	433	10,87	45,31	7,76	13,33	23,03	21,97	72,8	76,7	4	2200	739	108	
15:45	431	407	15,47	36,11	12,33	23,59	23,09	21,43	74,84	78,6	2	2200	685	54	
16:00	515	413	41,24	48,76	12,96	25,43	23,27	21,48	74,6	77,8	35	2200	1576	945	Volta das crianças após pintura
16:15	734	400	252,11	37,17	23,58	22,64	23,37	21,4	69,7	77,8	51	2200	2008	1377	Alta movimentação
16:30	1052		248,96		21,62		23,39		67,6		87	2200	2980	2349	
16:45	1147		95,59		23,62		23,56		66,9		87	2200	2980	2349	
17:00	1255		120,56		17,61		23,78		63,36		87	2200	2980	2349	Movimentação média
17:15	1106	430	513,19	40,02	23,71	22,08	23,25	20,83	63,4	79,8	40	2200	1711	1080	Saída das crianças e começo da arrumação da sala as 17h03, as 17h10 começaram a varrer a sala
17:30	865		246,86		20,01		22,9		71,8		21	2200	1198	567	Sala arrumada as 17h25
17:35	726		119,59		16,12		22,59		73,3		7	2200	820	189	Reunião pós oficina
17:40	643		78,1		14,5		23,69		71,8		15	2200	1036	405	Reunião pós oficina
17:45	625		61,83		14,16		23,4		73,8		23	2200	1252	621	Reunião pós oficina
17:50	596		37,66		12,91		23,41		74,3		30	2200	1441	810	Reunião pós oficina