

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL

VANESSA SOUZA DE ARAUJO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR POR MEIO DO
DIÓXIDO DE CARBONO E DO FORMALDEÍDO EM ESCOLAS DE
ENSINO FUNDAMENTAL APÓS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

CUIABÁ
2018

VANESSA SOUZA DE ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR POR MEIO DO
DIÓXIDO DE CARBONO E DO FORMALDEÍDO EM ESCOLAS DE
ENSINO FUNDAMENTAL APÓS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre

Área de concentração: Saneamento Ambiental

Orientador(a): Prof.^a Dra. Gersina Nobre da Rocha Carmo Júnior

CUIABÁ
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D278a ARAUJO, Vanessa Souza de.

Avaliação da qualidade do ar interior por meio do dióxido de carbono e do formaldeído em escolas de ensino fundamental após obras de construção civil / Vanessa Souza de ARAUJO. -- 2018

159 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Gersina Nobre da Rocha Carmo Júnior..

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Cuiabá, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Poluentes. 2. Ambientes internos. 3. Sazonalidade. 4. Dinâmica temporal. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental
Cuiabá, Mato Grosso

Vanessa Souza de Araújo

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR POR MEIO DO DIÓXIDO DE CARBONO E FORMALDEÍDO EM ESCOLAS DE ENSINO FUNDAMENTAL APÓS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Esta dissertação foi avaliada e julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL. Esta versão final foi aprovada pelo orientador e pela banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental.

Cuiabá, 26 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Bismarck Castillo Carvalho
Coordenador do PPGEEA

Banca Examinadora:

Prof.ª. Dr.ª. Gersina Nobre da Rocha Carmo
Júnior
(Orientadora)
Departamento de Engenharia Sanitária
Faculdade de Arquitetura, Engenharia
e Tecnologia
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. José Manoel Henriques de Jesus
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Arquitetura, Engenharia
e Tecnologia
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof.ª. Dr.ª. Luciana Sanches
Departamento de Engenharia Sanitária e
Ambiental
Faculdade de Arquitetura, Engenharia
e Tecnologia
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof.ª. Dr.ª. Danila Soares Caixeta
Departamento de Engenharia Sanitária e
Ambiental
Faculdade de Arquitetura, Engenharia
e Tecnologia
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. Marlon Leão
Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Estado de Mato Grosso

Dedico este trabalho a minha amada filha
Sophia Fernandes Araújo;

A meu grande amigo e companheiro, meu
esposo Luciano Fernandes, por toda dedicação,
incentivo e investimento;

A meus pais, Vanja M^a S. de Araújo e Jailson
B. Araújo, pelo incentivo durante a jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde e pelas pessoas que colocou em meu caminho.

A minha família, por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida e pela compreensão nos momentos em que não pude me fazer presente.

Ao meu companheiro Luciano Fernandes, por toda a sua compreensão, incentivo e colaboração durante as coletas de dados.

A minha querida professora orientadora, Gersina Nobre da Rocha Carmo Júnior, pelo profissionalismo, confiança, motivação e respeito para a realização deste estudo, sempre me incentivando e acreditando em minhas potencialidades, dando-me apoio e suporte nos momentos em que as dificuldades surgiram.

À professora Luciana Sanches, pelas valiosas sugestões no momento da qualificação e pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

Ao professor José Manoel Henriques de Jesus, por seu carinho e atenção, sempre disponível e solícito, cujas importantes sugestões muito contribuíram para a realização deste estudo, e pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

Ao professor Marlon Leão, pelas sugestões de grande relevância para a realização deste estudo e pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

Aos professores Ivan Callejas e Luciane Durante, pela atenção e auxílio com informações e pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Mariano Martínez Espinosa, do Departamento de Estatística, pela disponibilidade e importante ajuda na parte estatística desta pesquisa.

Ao professor Carlos Caneppele, do Departamento de Agronomia, pela disponibilidade e apoio instrumental importante no desenvolvimento deste trabalho.

A Bruna Moreira Dias de Moura, por sua amizade e companheirismo, sempre presente e me motivando nos tantos momentos compartilhados nesta fase de nossa vida, a quem serei eternamente grata.

A Rosane Olivo Menegon, por suas valiosas contribuições, por seu companheirismo e disponibilidade de seu espírito colaborativo.

A Valéria Shirley Orth de Jesus e Shanny Motta, por sua amizade, dedicação e companheirismo, as quais levarei em meu coração para sempre.

A Messias Cantanhede, que tanto contribuiu para a realização deste trabalho, sempre disponível a me ajudar durante minha pesquisa.

À Secretaria Municipal de Educação de Cuiabá, pela atenção e auxílio com informações importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Às equipes gestoras das unidades educacionais e às funcionárias, pela disponibilidade e atenção, sempre dispostas a fornecer informações e colaborar nos momentos de coleta.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso - Fapemat, pela bolsa que permitiu minha dedicação exclusiva ao mestrado.

“Laço essencial que nos une é que todos habitamos este pequeno planeta.

Todos respiramos o mesmo ar. Todos nos preocupamos com o futuro de nossos filhos. E todos somos mortais.”

(John Kennedy)

RESUMO

ARAÚJO, V. S. de. **Avaliação da qualidade do ar interior por meio do dióxido de carbono e do formaldeído em escolas de ensino fundamental após obras de construção civil.** 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, 2018.

A qualidade do ar interior (QAI) é relevante em ambientes escolares, onde crianças com organismos em formação passam longos períodos em ambientes fechados. A elevação de concentração de gases, como dióxido de carbono (CO_2) e formaldeído (H_2CO) após obras de construção civil pode comprometer a QAI. O objetivo deste trabalho foi avaliar a QAI por meio de H_2CO e CO_2 em ambientes escolares de ensino fundamental, após obras de construção civil. Os dados foram coletados em quatro escolas onde ocorreram obras de construção civil recentemente, em diferentes regiões do município de Cuiabá-MT, nas duas estações sazonais de chuva e seca. Os parâmetros medidos foram concentração de CO_2 e H_2CO , temperatura e umidade relativa do ar, com o ambiente fechado, e sob uso de ar-condicionado e uso de ventilação natural. As medições foram realizadas a 1,5 m e também 0,90 m de distância do solo, em dias de segunda-feira, no momento de abertura das escolas. Os tratamentos estatísticos dos dados foram estatística descritiva, análise de variância e correlação de Pearson. A maior variação e amplitude de concentração de H_2CO e CO_2 foi registrada na estação de seca. Há fraca tendência de que, com o aumento da temperatura, diminua a concentração de CO_2 e vice-versa. A concentração de CO_2 foi maior em ambiente aberto e com ventilação natural, do que com uso de ar-condicionado. A concentração de H_2CO foi maior com ambiente fechado, diminuindo com uso de ar-condicionado e ainda mais com ventilação natural. As escolas em que obras de construção civil são mais recentes apresentaram as maiores concentrações de H_2CO e CO_2 . Os resultados de CO_2 foram satisfatórios, ultrapassando em uma única coleta as recomendações da RE 09/03 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Os resultados das concentrações de H_2CO ultrapassaram, em diversos momentos, as recomendações das organizações internacionais, explicitando a necessidade de legislação nacional mais restritiva. A dinâmica de concentrações de H_2CO indica a influência da sazonalidade, dos materiais contidos nos ambientes e do tempo de ocupação após as obras. A sazonalidade e a localização dos ambientes demonstram influenciar a dinâmica de concentração de CO_2 . Apesar de não haver diferenças significantes nos resultados em alturas distintas, as alterações ocorridas justificam-se pela proximidade de fontes de emissão, no caso de H_2CO ; e pela densidade do ar, no caso de temperatura e CO_2 .

Palavras-chave: Poluentes; Ambientes internos; Sazonalidade; Dinâmica temporal

ABSTRACT

ARAUJO, V. S **Evaluation of indoor air quality through the carbon dioxide and formaldehyde in elementary schools after 2018 civil construction works** 159 f. Dissertation (Master in Building Engineering and Environmental) - Federal University of Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, 2018.

Indoor air quality (IAQ), is relevant in school environments that children with training agencies spend long periods in closed environments. High concentrations of the gas carbon dioxide (CO_2) and formaldehyde (H_2CO) after civil works can compromise the QAI. The aim of this study to evaluate the QAI through H_2CO and CO_2 , elementary school environments, after construction works. The data were collected in four elementary schools, in which construction works occurred recently in different parts of the city of London, in different seasons. The parameters measured were concentration of CO_2 and H_2CO , temperature and relative humidity, with different types of ventilation, the 1.5 m and also 0,90 m, soil on Monday, at the time of opening of schools. The statistical treatment of the data used was descriptive statistics, analysis of variance, and correlation of Pearson. The largest variation and range of concentration of H_2 and CO_2 were recorded at the drought. There's weak trend with increasing temperature, decreased the concentration of CO_2 and vice versa. The concentration of CO_2 , were higher in open environment and natural ventilation. The concentrations of H_2CO were higher with closed environment, reducing the use of air conditioning and with natural ventilation. Schools in which construction works are newer presented the highest concentrations of H_2 and CO_2 . The results of CO_2 , was overtaking in a single collection of recommendations RE 09/03 by ANVISA. The results of the concentrations of H_2CO , exceeded at various times recommendations of international organizations, explaining the need for more restrictive national legislation. The dynamics of concentrations of H_2CO , demonstrates that there influence of seasonality, materials contained in environments and post occupancy time civil works. The seasonality and location of the environments influence dynamics of concentration of CO_2 . Although there are no significant differences in the results with different heights, the differences that have occurred are justified by the proximity of sources of emission in the case of H_2CO , and with the air density in the case of temperature and CO_2 .

Palavras-chave: Pollutants; Indoor environments; Seasonality; Temporal dynamics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes de poluição atmosférica	26
Figura 2 - Complexidade das fontes de poluição.	29
Figura 3 - Mecanismo de transporte em um sistema de ventilação mecânica.....	31
Figura 4 - Os principais contaminantes do ambiente e seus efeitos à saúde	33
Figura 5 - Disposição de material particulado no aparelho respiratório	38
Figura 6 - Leveduras e bolores presentes no ambiente interno	39
Figura 7 - Manchas de umidade (bolor)	39
Figura 8 - Detalhe do dispositivo SBDW	64
Figura 9 - Mapa de localização das escolas objeto de estudo no município de Cuiabá-MT..	67
Figura 10 - Mapa de características do entorno das escolas objeto de estudo.....	69
Figura 11 - Mapa de uso e ocupação do solo das escolas objeto de estudo	69
Figura 12 - Descrição de características construtivas das escolas objeto de estudo.....	71
Figura 13 - Características construtivas dos ambientes das escolas objeto de estudo.....	72
Figura 14 - Representação da metodologia utilizada na elaboração da dissertação	75
Figura 15 - Escola 01- Ambientes selecionados para coleta de dados	80
Figura 16 - Escola 02 -Ambientes selecionados para coleta de dados	81
Figura 17 - Escola 03- Ambientes selecionados para coleta de dados.....	81
Figura 18 - Escola 04-Ambientes selecionados para coleta de dados	82
Figura 19 - Histograma dos Anos Hidrológicos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 para Cuiabá/MT.	83
Figura 20 - Aclimação de instrumentos.....	84
Figura 21 - Medição com ambiente fechado em sala de aula da escola 4.....	85
Figura 22 - Medição com ambiente fechado em sala de aula da escola2.....	85
Figura 23 - Medição com ambiente fechado em biblioteca.....	86
Figura 24 - Medição com ambiente fechado em sala de professores	86
Figura 25 - Equipamento instalado em sala de aula fechada.....	86
Figura 26 - Equipamento instalado em secretaria escolar	86
Figura 27 - Instrumentos no ambiente fechado	87
Figura 28 - Instrumentos no ambiente aberto.....	87
Figura 29 - Medição de dados com ambientes fechados e abertos.....	87
Figura 30 - Esquema explicativo de um gráfico boxplot.....	90
Figura 31 - Boxplot da temperatura do ar (°C).....	94
Figura 32 - Boxplot da umidade relativa do ar (%).....	94

Figura 33 - Gráfico de dispersão de temperatura do ar (°C) <i>versus</i> umidade relativa do ar (%)	95
Figura 34 - Boxplot da temperatura do ar (°C) em diferentes estações sazonais	96
Figura 35 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) em diferentes estações sazonais	97
Figura 36 - Boxplot da temperatura do ar (°C) com diferentes tipos de ventilação	99
Figura 37 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) com diferentes tipos de ventilação	100
Figura 38 - Boxplot da temperatura do ar (°C) nas escolas objeto de estudo	102
Figura 39 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) das escolas objeto de estudo	103
Figura 40 - Boxplot da temperatura do ar (°C) nos diferentes ambientes por escola objeto de estudo	106
Figura 41 - Boxplot da umidade relativa do ar em % nos diferentes ambientes de estudo	107
Figura 42 - Boxplot da temperatura do ar (°C) em diferentes campanhas	109
Figura 43 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) em diferentes campanhas	110
Figura 44 - Boxplot de temperatura do ar (°C) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)	111
Figura 45 - Gráfico de intervalos de temperatura do ar (°C) em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)	112
Figura 46 - Boxplot de umidade relativa do ar (%) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)	112
Figura 47 - Gráfico de intervalos de umidade relativa do ar em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)	113
Figura 48 - Boxplot da concentração de CO ₂ (ppm)	114
Figura 49 - Boxplot da concentração de CO ₂ (ppm) em diferentes estações sazonais	115
Figura 50 - Gráfico de dispersão de concentração de CO ₂ (ppm) <i>versus</i> temperatura do ar (°C)	117
Figura 51 - Gráfico de dispersão de concentração de CO ₂ (ppm) <i>versus</i> umidade relativa do ar (%)	117
Figura 52 - Boxplot da concentração de CO ₂ (ppm) com uso de diferentes ventilações	118
Figura 53 - Boxplot da concentração de CO ₂ (ppm) nas escolas objeto de estudo	120
Figura 54 - Gráfico de máximas concentrações de CO ₂ (ppm) com uso de diferentes ventilações	121
Figura 55 - Boxplot da concentração de CO ₂ (ppm) em diferentes ambientes objetos de estudo	123
Figura 56 - Boxplot da dinâmica de CO ₂ (ppm) nas escolas em estudo	126
Figura 57 - Concentração de CO ₂ (ppm) por medição durante cada coleta de dados	127
Figura 58 - Boxplot de concentração de CO ₂ (ppm) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)	128
Figura 59 - Gráfico de intervalos de CO ₂ (ppm) em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)	129
Figura 60 - Boxplot da concentração de H ₂ CO em ppm	130
Figura 61 - Boxplot da concentração de H ₂ CO (ppm) em diferentes estações sazonais	131

Figura 62 - Gráfico de dispersão de temperatura (°C) <i>versus</i> H ₂ CO (ppm).....	132
Figura 63 - Gráfico de dispersão de umidade relativa do ar <i>versus</i> H ₂ CO (ppm).....	133
Figura 64 - Gráfico de dispersão de CO ₂ <i>versus</i> H ₂ CO (ppm).....	133
Figura 65 - Boxplot da concentração de H ₂ CO (ppm) com uso de diferentes tipos de ventilação	134
Figura 66 - Boxplot da concentração de H ₂ CO (ppm) nas escolas objeto de estudo	137
Figura 67 - Gráfico de máximas concentrações de H ₂ CO (ppm) com uso de diferentes ventilações	138
Figura 68 - Boxplot da concentração de H ₂ CO (ppm) nos diferentes ambientes objeto de estudo	140
Figura 69 - Boxplot da dinâmica de H ₂ CO (ppm) nas escolas durante as campanhas de coleta de dados	142
Figura 70 - Concentração de H ₂ CO (ppm) durante cada coleta de dados	142
Figura 71 - Boxplot de concentração de H ₂ CO (ppm) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)	144
Figura 72 - Gráfico de intervalo H ₂ CO (ppm) em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias) .	145

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos poluentes do ar.....	26
Quadro 2 - Fatores e fontes que podem afetar a Qualidade do Ar Interior	30
Quadro 3 - Características dos poluentes químicos e efeitos à saúde	32
Quadro 4 - Principais efeitos da exposição humana ao formaldeído	35
Quadro 5 - Possíveis fontes de poluentes químicos	36
Quadro 6 - Possíveis fontes de poluentes biológicos	43
Quadro 7 - Síntese dos trabalhos sobre formaldeído nas escolas	53
Quadro 8 - Limites de concentração estabelecidos por organizações e pela NR-15 para formaldeído	58
Quadro 9 - Limites de concentração estabelecidos por organizações e pela RE 09/2003 (ANVISA) para CO ₂	59
Quadro 10 - Classificação da qualidade do ar em categorias, segundo a norma alemã DIN EN 13779: 2004. A sigla RAL significa “Raumluft” (ar interior)	60
Quadro 11 - Descrição dos materiais construtivos utilizados nos ambientes das escolas	72
Quadro 12 - Características dos equipamentos de medição utilizados nas coletas de dados ..	77
Quadro 12 - Características dos equipamentos de medição utilizados nas coletas de dados ..	78
Quadro 13 - Programação de datas das campanhas para coleta de dados	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar e limites de exposição.....	56
Tabela 2 - Determinação do número de amostras em função da área construída do edifício.	80
Tabela 3 - Estatísticas descritivas das variáveis temperatura, umidade, CO ₂ , H ₂ CO.....	93
Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR), entre as estações do ano (chuva e seca).....	98
Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey de dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR), com diferentes tipos de ventilação: ambiente fechado (V1); ar-condicionado (V2) e ventilação natural (V3)	101
Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR) entre as escolas objeto de estudo.....	102
Tabela 7 - Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de temperatura entre os diferentes tipos de ambientes.....	104
Tabela 8 - Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de umidade relativa do ar (UR) entre os diferentes tipos de ambientes	105
Tabela 9 - Estatística descritiva e teste Tukey de dados de temperatura em alturas diferentes	111
Tabela 10 - Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de umidade relativa do ar (UR) em diferentes alturas	113
Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO ₂) entre as estações sazonais (chuva e seca).....	116
Tabela 12 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO ₂) com diferentes ventilações: ambiente fechado (V1); ar-condicionado (V2) e ventilação natural (V3)	119
Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO ₂) entre as escolas objeto de estudo.....	120
Tabela 14 - Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO ₂) entre as diferentes tipologia de ambientes	122
Tabela 15 - Estatística descritiva e teste Tukey de dióxido de carbono (CO ₂) em diferentes alturas.....	128
Tabela 16 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de formaldeído (H ₂ CO) entre as estações sazonais (chuva e seca)	131
Tabela 17 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de formaldeído (H ₂ CO) com uso de diferentes tipos de ventilação	135
Tabela 18 - Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de formaldeído (H ₂ CO) entre as diferentes escolas objeto de estudo.....	136
Tabela 19 - Estatística descritiva e teste Tukey de dados de formaldeído (H ₂ CO) entre diferentes ambientes	139
Tabela 20 - Estatística descritiva e teste Tukey de H ₂ CO (ppm) em alturas diferentes	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono (gás carbônico)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Composto Orgânico Volátil
COVTs	Compostos Orgânicos Voláteis Totais
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
H ₂ CO	Formaldeído
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MP	Material Particulado
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NT	Norma técnica
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
QAI	Qualidade do ar de interiores
RE	Resolução
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SED	Síndrome do Edifício Doente
SO _x	Óxidos de Enxofre
VMR	Valor Máximo Recomendável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	PROBLEMA	21
1.2	JUSTIFICATIVA.....	22
1.3	OBJETIVOS.....	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivo Específico.....	23
1.4	ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO.....	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	25
2.2	QUALIDADE DO AR INTERIOR	27
2.3	FONTES E FATORES QUE PODEM ALTERAR A QUALIDADE DO AR INTERIOR	28
2.4	POLUENTES DO AR INTERIOR E OS EFEITOS À SAÚDE	31
2.4.1	Poluentes Químicos	32
2.4.1.1	Monóxido de Carbono (CO).....	34
2.4.1.2	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	34
2.4.1.3	Compostos Orgânicos Voláteis	34
2.4.1.4	Formaldeído.....	34
2.4.1.5	Medidas de correção em ambientes interiores - Poluentes químicos.....	36
2.4.2	Poluentes Físicos	37
2.4.2.1	As Partículas ou Aerossóis em Suspensão	37
2.4.3	Poluentes Biológicos	38
2.4.3.1	Bactérias	40
2.4.3.2	Fungos	41
2.4.3.3	Vírus	42
2.4.3.4	Medidas de correção de fontes em ambientes interiores - Agentes biológicos.....	43
2.5	SÍNDROME DO EDIFÍCIO DOENTE	44
2.6	QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS: ESTUDOS INTERNACIONAIS	45
2.7	QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS: ESTUDOS NACIONAIS.....	49
2.8	FORMALDEÍDO EM ESCOLAS	52
2.8.1	Fontes de emissão e fatores que interferem na concentração de formaldeído no ambiente interior de escolas	53
2.9	DIÓXIDO DE CARBONO NAS ESCOLAS	54

2.9.1	Fontes de emissão e fatores que interferem na concentração de dióxido de carbono no ambiente interior de escolas	55
2.10	ENQUADRAMENTO LEGAL	55
2.10.1	Padrões Nacionais de qualidade do ar.....	55
2.10.2	Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores	57
2.10.3	Normas de concentração de formaldeído para qualidade do ar interior	57
2.10.4	Normas de concentração de dióxido de carbono para qualidade do ar interior	59
2.11	MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E MEDIÇÃO DE POLUENTES DO AR INTERIOR	60
2.11.1	Amostragem dos poluentes	60
2.11.2	Aerodispersoides.....	60
2.11.3	Método de amostragem para bioaerossóis	61
2.11.4	Método de amostragem de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar	61
2.11.5	Amostragem de gases e vapores	62
2.11.5.1	Método de amostragem para dióxido de carbono.....	63
2.11.5.2	Funcionamento de medidor de dióxido de carbono (CO ₂) por sensor de infravermelho não dispersivo.....	64
2.11.5.3	Método de amostragem para concentração de formaldeído em ambiente interno	65
2.11.5.4	Funcionamento de medidor H ₂ CO:	65
3	ÁREA DE ESTUDO.....	66
3.1	LOCAL DE ESTUDO.....	66
3.1.1	Localização das escolas e características do entorno.	67
3.1.2	Detalhamento das escolas	70
3.1.3	Materiais construtivos das escolas	70
3.1.4	Detalhamento dos ambientes das escolas objeto de estudo	72
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	75
4.1	MATERIAIS	75
4.1.1	Medidor de dióxido de carbono (CO₂)	76
4.1.2	Medidor de formaldeído (H₂CO)	76
4.1.3	Medidor de temperatura, umidade e velocidade do ar	77
4.2	MÉTODOS.....	78
4.2.1	Estratégia da pesquisa.....	78
4.3	AMBIENTES SELECIONADOS	79
4.4	PERÍODO DE COLETA DE DADOS	82
4.5	COLETA DE DADOS	84
4.6	RASTREABILIDADE.....	88

4.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	88
4.7.1	Estatística descritiva aplicada aos dados	89
4.7.2	Boxplot (gráfico de Caixa)	89
4.7.3	Análise de variância e teste Tukey	90
4.7.4	O coeficiente de Correlação Linear de Pearson	90
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	92
5.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA	92
5.2	TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA	93
5.2.1	Correlação entre temperatura e umidade relativa.....	95
5.2.2	Temperatura e umidade relativa do ar nas estações sazonais de chuva e seca ..	96
5.2.3	Temperatura e umidade relativa do ar e os diferentes tipos de ventilação.....	99
5.2.4	Variações temporal e espacial de temperatura e umidade relativa do ar nas escolas objeto de estudo	101
5.2.5	Temperatura e umidade relativa do ar com instrumentos instalados em diferentes alturas	110
5.3	CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	113
5.3.1	Concentração de CO ₂ nas escolas em estudo durante estações sazonais de chuva e seca	115
5.3.2	Correlação entre temperatura e umidade relativa e a concentração de CO ₂ ...	116
5.3.3	Concentração de CO ₂ em diferentes tipos de ventilação.	118
5.3.4	Dinâmica de concentração de CO ₂ nas escolas objeto de estudo	119
5.3.5	Concentração de CO ₂ com instrumentos instalados em diferentes alturas	128
5.4	CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO.....	129
5.4.1	Concentração de H ₂ CO nas escolas em estudo durante estações de chuva e seca	130
5.4.2	Correlação entre temperatura, umidade relativa do ar e CO ₂ com a concentração de H ₂ CO.....	132
5.4.3	Concentração de H ₂ CO em diferentes tipos de ventilação.....	134
5.4.4	Dinâmica de concentração de H ₂ CO nas escolas objeto de estudo	135
5.4.5	Concentração de H ₂ CO com instrumentos instalados em diferentes alturas ...	144
6	CONCLUSÕES	146
6.1	RECOMENDAÇÕES	148
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	APÊNDICE	158

1 INTRODUÇÃO

A evolução da sociedade e as mudanças no estilo de vida têm, por consequência, graves alterações no meio ambiente. Dentre essas alterações ambientais, ocorre a emissão de poluentes gerados por atividades humanas que podem degradar a qualidade do ar e influenciar também a atmosfera de ambientes fechados.

O ar puro é um requisito básico para a saúde humana e para seu bem-estar (WHO, 2010). No entanto, em diversos países do mundo, a má qualidade do ar está fortemente ligada a problemas de saúde. Tal fato faz com que a preocupação com a qualidade do ar torne-se crescente, motivando pesquisas voltadas para fontes e fatores que exercem influência e os possíveis efeitos à saúde.

Em geral, para mensurar a presença e a concentração de poluentes atmosféricos, realizam-se medições em áreas externas com o uso de estações móveis ou estacionárias. Porém, nesse tipo de investigação, os resultados obtidos podem não ser eficientes, dado ao fato de que importantes poluentes podem não ser considerados. Em estudos realizados em áreas externas, podem ser desprezadas algumas fontes de emissão que se encontram unicamente em atmosferas de ambientes internos.

A qualidade do ar interior (QAI) é um termo comum usado para a qualidade do ar de um ambiente interno, ou seja, de ambiente construído. A QAI é uma área recente de estudo e ganhou interesse como área de pesquisa após a crise do petróleo, na década de setenta, quando o movimento mundial de conservação de energia ganhou notoriedade e seus conceitos foram aplicados em projetos de uma forma abrangente (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

Os estudos voltados para QAI são relevantes, pois, segundo Portugal (2009), a exposição diária aos poluentes atmosféricos resulta em grande parte da inalação de ar interior, não só pelo tempo que é despendido dentro dos edifícios, mas também porque os níveis de poluição no interior são muito elevados. Araquan (2008) descreve a QAI como uma preocupação mundial, considerando-se o aumento populacional, o crescimento das cidades e a aglomeração de pessoas em ambientes climatizados artificialmente.

Os efeitos da contaminação do ar em ambientes internos, por diversas fontes, podem assim comprometer a saúde e o bem-estar de seus ocupantes e conduzir ao fenômeno conhecido como Síndrome do Edifício Doente (SED). Esse fenômeno é caracterizado por altas taxas de

absenteísmo, quando os usuários passam por um estado transitório de doença em uma edificação, e os sintomas desaparecem quando se afastam do local. Desse modo, os sintomas podem afetar a saúde dos usuários e interferir em suas atividades cotidianas, reforçando-se assim a importância de uma boa QAI.

Os estudos relacionados a esse relevante tema devem ter especial atenção em ambientes escolares, uma vez que os estudantes passam muitas horas em salas de aula fechadas e, assim, podem estar expostos por longo período a níveis de concentração de poluentes atmosféricos, que podem ser prejudiciais à saúde de seus ocupantes.

Diversas são as razões para que a QAI em escolas tenha especial preocupação, dentre as quais, segundo Alves e Aciole (2012), reside o fato de que crianças são mais sensíveis que os adultos, pois como seus organismos se encontram em formação, respiram maiores volumes de ar em relação ao seu peso corporal.

Diversos estudos em muitos países mostram que é crescente a preocupação com a QAI em escolas. Lee e Chang (2000) realizaram estudo em cinco escolas em Hong Kong, fazendo a comparação do ar exterior e com o interior, buscando caracterizar o nível de poluição do ar, conforme as exigências da legislação. Neste estudo, o principal problema em relação à QAI foram o material particulado (MP10), que atingiu três vezes o padrão recomendado, e as altas concentrações de CO₂, devido à superlotação dos ambientes e à ventilação inadequada.

Chaloulakou e Mavroidis (2002), na Grécia, realizaram análise da concentração de monóxido de carbono (CO) em uma escola, na qual concluíram que a concentração de CO encontrou-se menor em ambientes internos, em relação aos respectivos níveis de ambientes externos. Na França, Blondeau et al. (2005) fizeram o monitoramento das concentrações de ozônio, óxidos de nitrogênio, material particulado, CO₂, temperatura e umidade em oito edifícios escolares, simultaneamente nos ambientes internos e externos, e verificaram que, ao favorecerem a renovação do ar nas salas de aula, as concentrações de CO₂ apresentaram melhora, porém houve aumento nos índices de ozônio. Tal estudo concluiu que se faz necessário conhecer as concentrações dos contaminantes, os parâmetros de influência entre a qualidade do ar interior e do exterior; assim, a partir desses dados, podem-se gerar estimativas na concepção de edifícios que protejam as crianças contra a poluição atmosférica.

Heudorf, Neitzertb e Spark (2009) avaliaram o impacto causado pela limpeza e ventilação na qualidade do ar em salas de aula de escolas de ensino primário, em Frankfurt, na

Alemanha. Os resultados desse estudo mostraram que os níveis de CO₂ e de MP10 são influenciados pela ocupação dos ambientes e que a limpeza intensificada pode diminuir a concentração dos poluentes, assim como o uso de ventilação adequada.

Na Coreia, Wonho et al. (2009) investigaram a qualidade do ar interior em escolas em relação à idade da construção, com o objetivo de caracterizar as concentrações de CO, CO₂, MP10, COVs, formaldeído e contagem de colônias de microrganismos, durante as diferentes estações do ano, e concluíram que as concentrações de poluentes são influenciadas pela emissão de materiais construtivos e mobiliários, sendo mais elevadas em escolas onde as obras de construção civil são recentes.

Na cidade grega de Atenas, Santamouris et al. (2008) realizaram estudo dos fluxos de ar e da concentração de dióxido de carbono (CO₂) em salas de aula com ventilação natural, demonstrando a influência da temperatura na qualidade do ar interior. Na cidade de Coimbra, em Portugal, o estudo de análise da qualidade do ar de escolas de educação básica e de suas condições estruturais e funcionais, por Ferreira e Cardoso (2013), mostrou existir associação entre a falta de ventilação nas crianças e a exposição a altos níveis de CO₂. O estudo de Breginski (2015), na cidade de Curitiba, sobre concentração de formaldeído busca estabelecer a relação causal entre mobiliário, materiais de construção e emissão de formaldeído em sala de aula construída em wood frame. Como resultado, recomenda a adoção de medidas para reduzir a emissão de formaldeído, como a criação de leis para produtores e importadores de painéis e materiais de construção.

Em Mato Grosso, o trabalho pioneiro de Luciano (2015) buscou definir as ótimas concentrações de CO₂, pela percepção dos usuários, em ambientes climatizados de salas de aula de quatro distintas zonas bioclimáticas, nas estações de chuva e seca, através de medições com uso de sensores e aplicação de questionários simultaneamente. O referido estudo identificou a necessidade de renovação do ar nos ambientes e que o tempo de exposição diminui a sensibilidade dos alunos em relação às substâncias inodoras, onde se observaram mudanças significativas destes quanto à percepção geral da qualidade do ar. No município de Cuiabá, Caixeta *et al.* (2006) realizaram monitoramento da qualidade do ar em salas de aula para verificar a concentração de bactérias, encontrando, em nove de onze pontos, concentração de bactérias acima das recomendações legais em, pelo menos, um dos meses de análise.

Tais estudos demonstram que obras de construção civil realizadas em escolas podem influenciar a concentração de poluentes em ambientes internos, e que pode haver diferença de

concentração de poluentes entre diferentes edificações escolares. Vários estudos apresentaram o dióxido de carbono em níveis altos, o que pode ser um indicador de trocas e renovação do ar, e o formaldeído, representando um poluente onipresente.

Diante do risco de exposição e toxicidade desses poluentes, torna-se importante avaliar o desempenho das obras de construção civil, em relação à qualidade do ar, em ambientes escolares.

Apesar do crescente interesse internacional, esse tema, no Brasil, é uma preocupação recente, com poucos estudos e uma legislação pouco restritiva.

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo avaliar a concentração de formaldeído (H_2CO) e de dióxido de carbono (CO_2) em ambientes internos após obras de construção civil de escolas de ensino fundamental, séries iniciais. O estudo foi realizado no município de Cuiabá - Mato Grosso, Brasil.

1.1 PROBLEMA

A poluição atmosférica é reconhecidamente um fator que causa efeitos deletérios à saúde. Em ambientes internos, poluentes que degradam a qualidade do ar podem se encontrar em níveis de concentração mais elevados que em ambientes externos. Estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2009) indicam que os níveis de concentração de poluentes podem ser de duas a cinco vezes maiores em ambientes internos do que nos externos.

O ambiente escolar é um local preocupante, quando se trata da saúde de seus ocupantes, dado ao fato de que estes passam muitas horas em salas de aula fechadas. O agravante ocorre no caso de escolas de ensino fundamental, onde o risco de danos causados pela concentração de poluentes pode causar efeitos danosos à saúde de crianças, cujo organismo encontra-se em estágios de formação. Assim a exposição a tais poluentes pode ser mais prejudicial do que a adultos.

Relacionados à qualidade do ar interno, os parâmetros como CO_2 (dióxido de carbono) e COVTs (composto orgânicos voláteis totais) podem ter efeitos sobre a concentração e o rendimento dos usuários em seus espaços de trabalho, moradia e estudo (LUCIANO, 2015).

A concentração do CO₂ em ambientes internos depende dos níveis externos e da sua produção dentro do ambiente, e é um bom indicador do nível de ventilação e renovação do ar interior.

Segundo Carmo e Prado (1999), compostos orgânicos voláteis são aqueles que contêm carbono e hidrogênio, e que se volatilizam à temperatura ambiente. Os COVs possuem um subgrupo denominado carbonilas. O formaldeído é o principal COV da classe dos compostos carbonílicos, entre os mais encontrados em ambientes internos (SODRÉ *et al.*, 2008; SCHIRMER *et al.*, 2011).

Os Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVTs) são de grande preocupação e são a melhor referência da qualidade do ar interior, porém os sensores destes poluentes têm alto custo e são de difícil aquisição.

Perante a escassez de dados relacionados à avaliação dos níveis de formaldeído em escolas brasileiras, acredita-se ser de fundamental relevância uma avaliação exaustiva desse poluente em ambientes escolares (BREGINSKI, 2015).

Posto isso, os seguintes questionamentos regem este estudo:

- ✓ A concentração dos gases dióxido de carbono (CO₂) e formaldeído (H₂CO), em ambientes escolares, após obras de construção civil, no município de Cuiabá-MT, está em níveis de concentração recomendados por normas técnicas de órgãos ambientais para não causar danos à saúde?

1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação para esta pesquisa surge da escassez de pesquisas voltadas para o tema. Vários problemas de qualidade do ar interior são reconhecidos como importantes fatores de risco no que diz respeito à saúde humana (WHO, 2010). Após obras de construção civil, a elevação dos níveis de poluentes, como dióxido de carbono (CO₂) e formaldeído (H₂CO), pode ocorrer pela relação entre esses elementos e a composição de materiais construtivos e mobiliários, e ainda por pouca renovação do ar. Com obras ocorridas recentemente nas escolas do município de Cuiabá-MT, surge a necessidade de verificar se, além de suprir a demanda por vagas, a concentração dos poluentes em estudo encontra-se em níveis previstos por normas técnicas de órgãos ambientais. Acredita-se que este trabalho poderá contribuir para o avanço

científico sobre a exposição a poluentes em escolas, após obras de construção civil, e ampliar a discussão quanto à necessidade eminente de políticas públicas e leis mais restritivas referentes à qualidade do ar interior.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar a qualidade do ar interior, por meio de dióxido de carbono (CO_2) e formaldeído (H_2CO), em ambientes internos de escolas de ensino fundamental, após obras de construção civil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar concentrações dos gases de dióxido de carbono (CO_2) e formaldeído (H_2CO) em ambientes internos de edificações escolares, após obras de construção civil, em diferentes estações sazonais;
- Analisar o comportamento dos parâmetros monitorados em diferentes tipos de ventilação: ambiente fechado, ambiente com uso de ar-condicionado e ambiente aberto;
- Estabelecer a correlação entre concentração dos gases CO_2 e H_2CO com as variáveis climatológicas de temperatura e umidade relativa do ar;
- Realizar a análise espacial dos dados dos parâmetros em estudo nas diferentes escolas objeto de estudo;
- Analisar a dinâmica de dióxido de carbono (CO_2) e formaldeído (H_2CO) após obras de construção civil;
- Conferir se os valores obtidos convergem com os limites estabelecidos por normas técnicas de órgãos ambientais;
- Determinar as diferenças nas variáveis monitoradas em razão de diferentes alturas.

1.4 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

A estrutura da presente dissertação apresenta cinco capítulos, dentre os quais o primeiro é a introdução. O capítulo 2 aborda assuntos sobre a qualidade do ar interior, em que se apresenta um panorama geral sobre o tema, apresentando estudos internacionais e nacionais realizados em escolas, incluindo estudos realizados no estado de Mato Grosso. Nesse capítulo, são apresentados os principais poluentes do ar interior, suas causas e fatores que podem influenciar a qualidade do ar. Além disso, é apresentada a importância de investigar a presença de formaldeído e Dióxido de Carbono em ambientes escolares. Por fim, nesse capítulo, são descritas as principais normas referenciais para a qualidade do ar interior.

No capítulo 3, caracteriza-se a área de estudo do presente trabalho e é descrito cada um dos locais de estudo, além de sua localização e características de entorno. Os ambientes selecionados para o monitoramento também são detalhados, apresentando os dimensionamentos e os materiais construtivos neles contidos.

No capítulo 4, desenvolve-se a metodologia, em que são apresentados os equipamentos utilizados no experimento, a metodologia de coleta e os tratamentos estatísticos empregado na pesquisa.

O capítulo 5 refere-se aos resultados obtidos durante a aplicação da metodologia e também a discussão sobre eles. No último capítulo, apresentam-se as conclusões, os resultados relevantes, as recomendações de ações a serem adotadas a partir dos resultados encontrados, assim como as recomendações para trabalhos futuros. Na sequência, são apresentadas as referências bibliográficas e, posteriormente, o apêndice.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será descrito, a seguir, o embasamento teórico que norteia o presente estudo. Assim serão abordados os tópicos: poluição atmosférica; qualidade do ar interior; fontes e fatores que influenciam a qualidade do ar interior; os poluentes do ar interior; síndrome do edifício doente; qualidade do ar em escolas; métodos de amostragem de poluentes do ar interior; e legislações.

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

As atividades antrópicas e a evolução do estilo de vida da sociedade são as principais causas de aumento da poluição atmosférica. A exposição à poluição atmosférica tem se tornado um fator de risco extremamente importante para a saúde humana, especialmente nos centros urbanos industrializados (JASINSKI; PEREIRA; BRAGA, 2011).

A emissão de poluição atmosférica pode ocorrer a partir de fontes naturais ou ser decorrente de atividades humanas. De acordo com a classificação do Ministério do Meio ambiente - MMA (BRASIL, 1990), os poluentes atmosféricos podem ser primários ou secundários. Os poluentes primários são os contaminantes emitidos diretamente pelas fontes para o ambiente, a exemplo, os gases dos automóveis (monóxido de carbono, fuligem, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, hidrocarbonetos, aldeídos e outros). Os poluentes secundários são aqueles resultantes de reações entre os poluentes primários e substâncias presentes na camada baixa da atmosfera e as frações da radiação solar. Como exemplo de poluentes secundários, há a decomposição de óxidos de nitrogênio pela radiação ultravioleta oriunda do sol na formação de ozônio e nitrato de peroxiacetila. A Figura 1 ilustra os poluentes primários e os poluentes secundários e ainda as fontes de poluição atmosférica naturais e antrópicas.

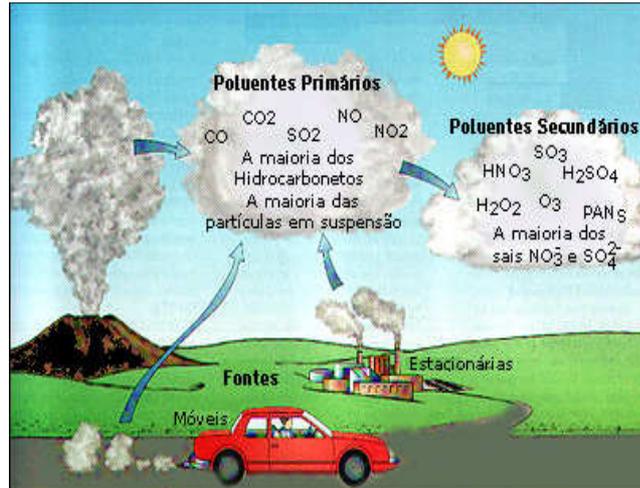


Figura 1 - Fontes de poluição atmosférica
Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente

Em um ambiente urbano, a exposição humana aos poluentes atmosféricos é difícil de ser avaliada, dada a multiplicidade de fontes de emissão naturais e antropogênicas existentes. Os diversos microambientes existentes no ambiente urbano realizam trocas de ar diariamente, existindo variabilidade nas concentrações de poluentes dos ambientes externos e internos das edificações.

Os poluentes do ar podem ser classificados em três grandes grupos: poluentes primários e secundários; poluentes exteriores e interiores; e ainda poluentes gasosos e particulados. No Quadro 1, são apresentados os principais poluentes do ar e sua respectiva classificação em primários e secundários.

<p>A - Poluentes primários/secundários</p> <p>(i) Primários: poluentes emitidos diretamente na atmosfera (ex.: SO₂, NO_x, CO, MP)</p> <p>(ii) Secundários: poluentes formados como resultado de reações químicas com outros poluentes e gases (ex.: O₃, NO, MP)</p>
<p>B - Poluentes exteriores/interiores</p> <p>(i) Interiores</p> <p>(a) Fontes: combustão, ressuspensão de particulado, materiais de construção, condicionamento de ar, tabagismo, agentes biológicos.</p> <p>(b) Produtos: produtos da combustão (ex. fumaça de cigarro), CO, O₂, COVs (ex.: aldeídos, álcoois, alcanos, cetonas), agentes microbiológicos e partículas orgânicas.</p> <p>(ii) Exteriores</p> <p>(a) Fontes: industrial, comercial, móvel, urbana, regional, agrícola, natural.</p> <p>(b) Produtos: SO₂, O₃, NO_x, CO, MP, COVs.</p>

(Continua)

Quadro 1 - Classificação dos poluentes do ar

C - Poluentes gasosos/particulados

- (i) Gasosos: SO₂, NO_x, O₃, CO, COVs (ex.: benzeno, aldeídos, dioxinas).
 (ii) Particulado: material grosso (2,5-10 µm; padrão legal = MP10); material fino (0,1-2,5 µm; padrão legal = MP2,5); material ultrafino (<0,1 µm; não regulamentado).

(Conclusão)

Quadro 1 - Classificação dos poluentes do ar
 Fonte: Bernstein *et al.* (2004).

2.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR

Segundo Breginski (2015) e Portugal (2009), "entende-se por ar interno aquele de áreas não industriais, como habitações, escritórios, escolas e hospitais". Para fins de definição de qualidade do ar interior, utiliza-se o conceito da Portaria GM/MS nº 3.523/98, adotado pela Resolução número 9 (ANVISA, 2003) como: "condição do ar ambiental de interior, resultante do processo de ocupação de um ambiente fechado com ou sem climatização artificial que separa as condições de ausência e de presença do risco de agressão à saúde humana".

A evolução histórica das pesquisas científicas sobre a qualidade do ar interior e sobre a qualidade do ar exterior estão intimamente ligadas, pois são áreas bastante similares; assim os conhecimentos adquiridos em uma delas nos permitem alcançar a outra (BELO, 2011).

A partir de uma análise histórica, pode-se verificar que conceito de qualidade do ar interior é um assunto questionado há muitos séculos, contudo ainda não foi alvo de grande preocupação. Na Antiga Roma, o tutor do imperador Nero, Séneca, queixava-se do efeito que o fumo provocado pela queima de madeira tinha na sua saúde e na degradação de edifícios. Séculos mais tarde, em 1157, Eleanor, a esposa de Henrique II, rei de Inglaterra, abandonou Nottingham devido à poluição causada pela queima de madeira (BELO, 2011). Em uma ótica religiosa, na Bíblia Sagrada, há relatos quanto ao reconhecimento de problemas causados pela contaminação dos edifícios e a praga da lepra (LEVÍTICO 14, 2002, p.34-57).

A qualidade do ar interior é uma área recente de estudos, surgiu como ciência a partir da década de 70, após a crise do petróleo e a consequente construção dos edifícios selados (desprovidos de ventilação natural), com a introdução de sistemas de condicionamento de ar. Nos países desenvolvidos, destacou-se após a descoberta de que a diminuição das taxas de troca de ar nesses ambientes era a grande responsável pelo aumento da concentração de poluentes no

ar interno (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999). De acordo com Gioda e Aquino Neto (2003), no Brasil, há poucos estudos relacionando qualidade do ar em ambientes fechados à saúde.

O texto “Indoor Air Quality Handbook-IAQH” (TSI INCORCORATED, 2013) descreve que os critérios de determinação da qualidade do ar interior podem ser separados em duas categorias: conforto e saúde. A diferença está na maneira como os seres humanos são afetados. Conforto é uma maneira de medir a satisfação do indivíduo e pode afetar sua concentração e produtividade, sendo esse um fenômeno tanto físico como psicológico que varia de pessoa para pessoa. Assim a má qualidade do ar interior pode representar uma ameaça para a saúde humana.

2.3 FONTES E FATORES QUE PODEM ALTERAR A QUALIDADE DO AR INTERIOR

A qualidade do ar interior resulta das interações de vários fatores, como: características bioclimatológicas; materiais construtivos e de acabamento; mobiliários e decoração; taxa de ventilação, qualidade do ar externo, características do entorno, tipo de ocupação, número de ocupantes, entre outros. Os poluentes que podem estar presentes em ambientes internos advêm de diversas fontes, como pode-se visualizar na Figura 2, sendo as três principais fontes decorrentes da:

- a) Própria ocupação dos ambientes;
- b) Contribuição das características construtivas; e
- c) Contribuição dos ambientes do ar exterior.

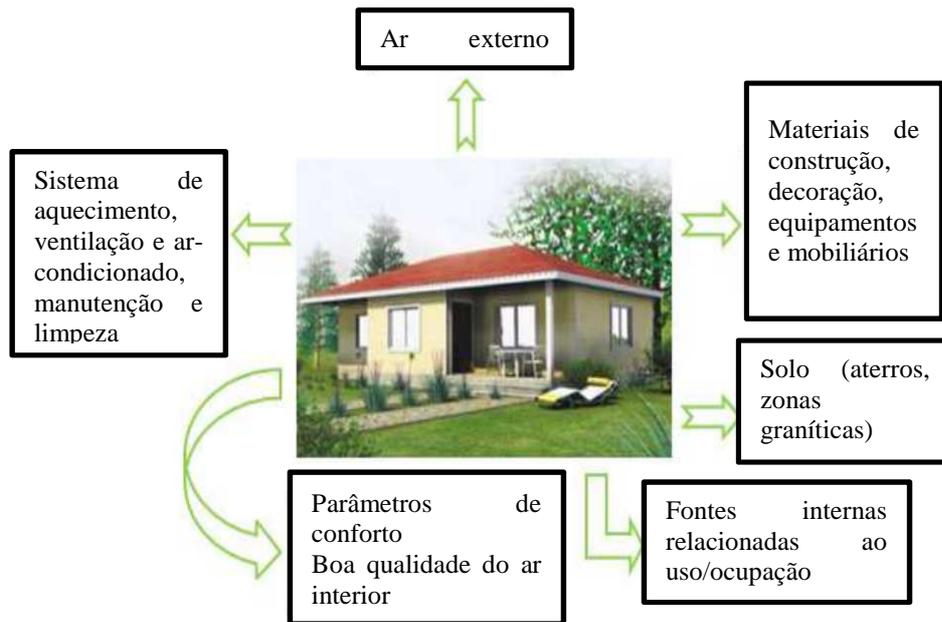


Figura 2 - Complexidade das fontes de poluição.

Fonte: Abreu (2010)

As próprias pessoas e suas respectivas atividades ocupacionais são um dos maiores contribuintes para a poluição do ar em ambientes fechados (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999). São exemplos de fontes de emissão de poluentes geradas pela ocupação do ambiente os produtos do metabolismo humano, o vapor de água, a matéria particulada, as escamas de pele, os pelos, os cabelos, as roupas e os microrganismos liberados por espirros e/ou respiração.

Tintas, carpetes, materiais de acabamento, adesivos, produtos de limpeza e máquinas de escritório liberam contaminantes para o ar interior sob a forma de gases, vapores ou partículas em suspensão (GIODA; AQUINO NETO, 2003). Poeira, móveis, objetos de decoração e demais materiais contidos na edificação são as potenciais fontes de contribuição, como fontes de emissão de poluentes do ambiente interno das edificações.

A contribuição do exterior, como fonte de contaminação do ar, se dá principalmente devido às características do entorno. Tem-se como exemplos a fumaça oriunda de chaminés, os gases e vapores como produtos de combustão de veículos automotores, e ainda pólen, fungos e bactérias.

Os poluentes do ar podem ser classificados em três grandes grupos: poluentes primários e secundários; poluentes exteriores e interiores; e ainda poluentes gasosos e particulados. No Quadro 2, são apresentados os principais fatores e as fontes de poluição do ar que podem comprometer a qualidade do ar interior.

Fatores	Principais Fontes
Temperatura e umidade	Controle de umidade deficiente, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e densidade de ocupação.
Dióxido de carbono	Número de pessoas, queima de combustíveis fósseis e características do entorno.
Monóxido de carbono	Emissões de veículos, combustão, fumo.
Formaldeído	Madeira prensada, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.
Partículas	Fumo, entradas de ar, papel, resíduos, limpezas, dutos e tubulação.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes.
Ventilação inadequada	Medidas de poupança de energia e manutenção, erro na concepção do projeto do sistema de ventilação e dos espaços em avaliação.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas de ar-condicionado, materiais molhados e úmidos.

Quadro 2 - Fatores e fontes que podem afetar a Qualidade do Ar Interior

Fonte: PORTUGAL (2009) - Adaptado pela autora.

As baixas taxas de ventilação são fatores de influência sobre o aumento da poluição atmosférica. Em um edifício, o dimensionamento e a implementação de sistemas de ventilação devem ter em conta as fontes de poluição, de forma a proceder à evacuação para o exterior dessas substâncias poluentes, evitando assim a contaminação do ar interior (ABREU, 2010). A Figura 3 ilustra, de maneira simplificada, o mecanismo de transporte, em um sistema de ventilação mecânica, de poluentes presentes no ar.

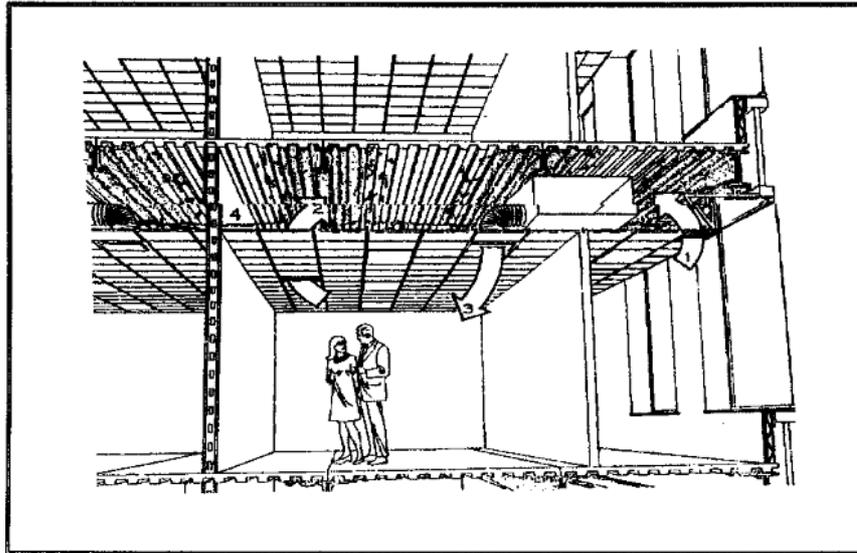


Figura 3- Mecanismo de transporte em um sistema de ventilação mecânica
 Fonte: Brickus e Aquino Neto (1999)

2.4 POLUENTES DO AR INTERIOR E OS EFEITOS À SAÚDE

Os poluentes que podem afetar a qualidade do ar são os poluentes químicos, os físicos e os biológicos. Produtos de limpeza, solventes, combustíveis, adesivos, vários produtos, emissões de mobiliário e de revestimentos são exemplos típicos de produtos químicos que interferem na qualidade do ar de ambientes internos.

Entre os exemplos de poluentes biológicos mais comuns que podem afetar a qualidade do ar, incluem-se: bactérias, fungos, vírus, pólen, pelos e excrementos. Dentre os poluentes físicos, presentes no ar, estão materiais particulados e aerossóis. Os materiais particulados e aerossóis são sólidos ou líquidos que são suficientemente leves para serem suspensos no ar. As partículas são classificadas em três categorias gerais: grosso, fino e ultrafino, e são derivados de poeira, atividades de construção, impressão, copiadoras, processos de fabricação, fumo, combustão e algumas reações químicas em que vapores se condensam às partículas de forma. Estas podem ser categorizadas como poeira, fumaça, névoa e fumo. A rigor, pode-se dividir os tipos de poluentes em: materiais particulados, aerossóis, vapores e gases (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

Cada poluente atmosférico pode causar efeitos diferentes na saúde humana, o que pode ser agravado pela exposição simultânea a vários tipos de poluentes. O Quadro 3 indica os efeitos

de alguns poluentes que podem estar presentes no ar interior, suas características e possíveis efeitos à saúde humana.

Poluente	Características físico-químicas	Efeitos à saúde
CO (monóxido de carbono)	Incolor, inodoro.	Dores de cabeça, náuseas, cansaço, vertigens carboxihemoglobinemia; efeitos no Sistema Nervoso Central e no sistema cardiovascular, asfixia.
CO ₂ (dióxido de carbono)	Incolor	Dor de cabeça, irritação nos olhos e na garganta, fadiga, falta de ar, efeitos no Sistema Nervoso Central e no sistema cardiovascular.
H ₂ CO (formaldeído)	Incolor, odor forte, solúvel em água, muito reativo.	Irritação nos olhos, no nariz e na garganta, dificuldades respiratórias, enjoos, fadiga.
COVs (compostos orgânicos voláteis)	Solventes de uso comum (benzeno, tolueno, xileno, tricloroetileno, tetracloroetileno, outros).	Odores, alergia, náuseas, vertigens, fadiga, dor de cabeça, olhos vermelhos, secura das mucosas do nariz e garganta, cancro da pele e do pulmão, leucemia.
PM ₁₀	Material sólido ou pequenas gotículas de vapor, fumo e poeiras.	Problemas respiratórios, olhos secos, asma e alergias, irritação da pele e mucosas, tosse e espirros, doenças profissionais (metais).
Benzeno	Líquido volátil, incolor, pouco solúvel em água, altamente inflamável.	Depressão do Sistema Nervoso Central, perda de consciência, leucemia.

Quadro 3 - Características dos poluentes químicos e efeitos à saúde

Fonte: Adaptado de: Guia técnico de qualidade do ar em espaços interiores, da agência portuguesa do ambiente (PORTUGAL, 2009)

Os vários poluentes atmosféricos que influenciam a qualidade do ar e causam efeitos danosos à saúde podem ser divididos em: poluentes químicos, poluentes biológicos e agentes físicos, e serão detalhados na sequência.

2.4.1 Poluentes Químicos

Dentre os principais poluentes químicos que podem estar presentes no ar interior, podem se destacar: partículas aerossóis em suspensão; monóxido de carbono; dióxido de carbono; compostos orgânicos voláteis e formaldeído; material particulado e benzeno. A Figura

4 ilustra alguns poluentes químicos que podem se encontrar presentes no ambiente interno e seus efeitos à saúde.

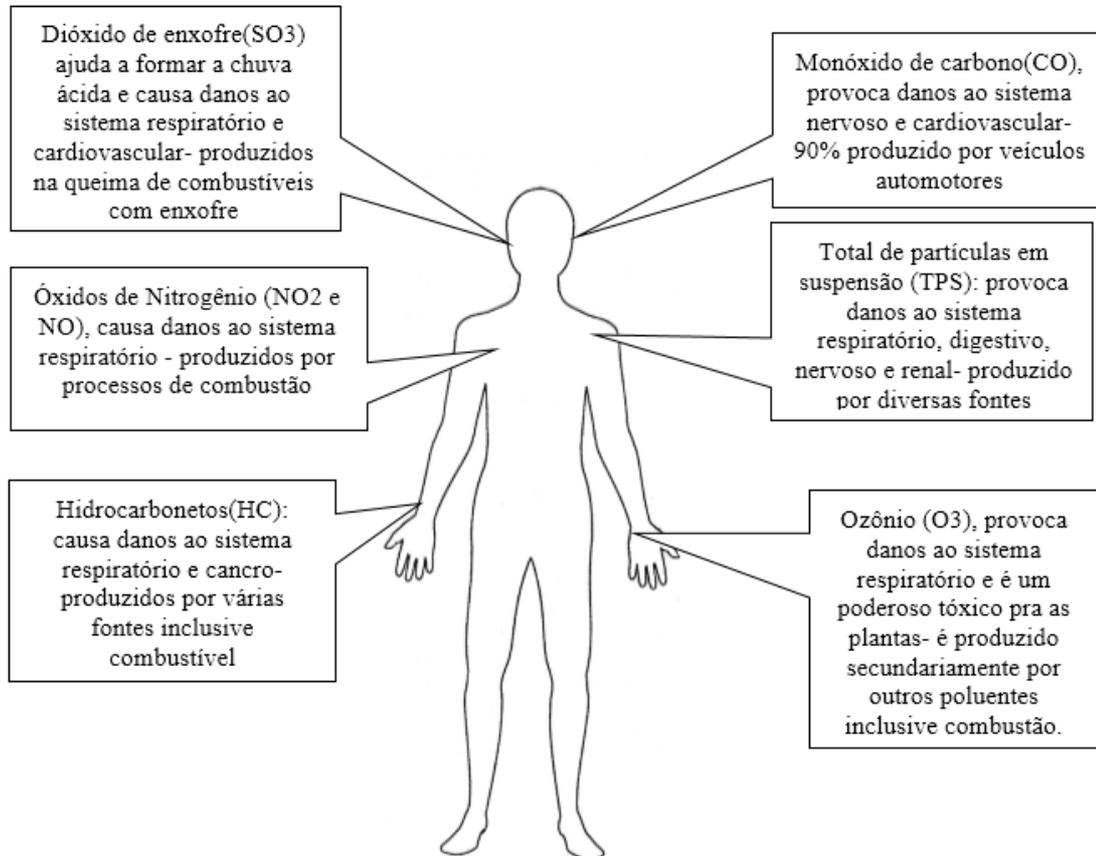


Figura 4 - Os principais contaminantes do ambiente e seus efeitos à saúde
Fonte: A autora, adaptado de Abreu (2010)

Dentre os poluentes do ar interior, os poluentes químicos são de grande preocupação, devido aos seus efeitos tóxicos à saúde. A OMS, em 2010, através do “WHO Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants” (WHO, 2010), publicou normas e recomendação dos valores poluentes do ar interior, com destaque para esta tipologia de poluentes. Os principais poluentes comumente encontrados em ambientes internos são descritos a seguir, sendo: monóxido de carbono (CO); dióxido de carbono (CO₂); compostos orgânicos voláteis (COVs) e formaldeído (H₂CO).

2.4.1.1 Monóxido de Carbono (CO)

Monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico incolor, não irritante, inodoro e insípido. É produzido pela combustão incompleta de combustíveis. Vigorosamente reage com oxigênio, acetileno, cloro, flúor e óxido nitroso (WHO, 2010). A exposição em ambiente interno desse gás se dá pela entrada de ar externo. A OMS, nas suas “Guidelines”, indica concentrações máximas consoante o tempo de exposição: 15 minutos – 100 mg/m³; 1 hora – 35 mg/m³; 8 horas – 10 mg/m³; e 24 horas - 7 mg/m³. Acima dos valores recomendados pela OMS, pode causar vários riscos à saúde e até óbito.

2.4.1.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

Dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor e inodoro. É um constituinte da atmosfera (330-350 ppm), como descreve a APA (PORTUGAL, 2009). A sua concentração no ar interior de edifícios no espaço em avaliação pode ser produto de combustão e do metabolismo humano. A presença desse gás em concentrações elevadas diminui a oferta de oxigênio no ambiente.

2.4.1.3 Compostos Orgânicos Voláteis

O termo “compostos orgânicos” engloba todos aqueles que contenham carbono e hidrogênio. Compostos orgânicos voláteis são aqueles que se volatizam à temperatura ambiente, como descrevem Carmo e Prado (1999). Schirmer *et al.* (2011) salientam que o formaldeído é o COV mais encontrado nos ambientes internos.

Os níveis de COVs, apesar da entrada de originárias do ar externo, são maiores em ambientes internos, principalmente se os edifícios forem novos devido aos materiais de construção que, quando aplicados, apresentam taxas mais altas de emissão, que vão diminuindo ao longo do tempo (BREGINSKI, 2015).

2.4.1.4 Formaldeído

Formaldeído é um composto volátil à temperatura ambiente, inflamável, incolor, reativo e de forte odor (SODRÉ, 2006). É uma matéria-prima química para numerosos processos

industriais, sendo também usado como conservante, desinfetante e biocida (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010).

O formaldeído é um elemento presente em materiais construtivos, colas, resinas, entre outros. É o poluente que ocorre em maior frequência nas atmosferas interiores, em concentrações capazes de provocar irritação sensorial nos olhos e no aparelho respiratório (BREGINSKI, 2015).

De acordo com Salthammer, Mentese e Marutzky (2010), o formaldeído é um poluente cancerígeno que provoca o cancro da cavidade nasal em trabalhadores expostos a altos níveis de exposição, sendo que, em níveis moderados de exposição, pode causar sintomas irritantes, como queima temporária dos olhos ou do nariz e dor de garganta. O Instituto Nacional do Câncer – INCA (BRASIL, 2016) relata que não existe nível seguro de exposição ao formaldeído em se tratando de risco de câncer.

Breginski (2015) descreve o formaldeído como principal poluente da classe das carbonilas. O Quadro 4 mostra os principais efeitos de curto tempo de exposição de seres humanos ao formaldeído.

Média de concentração	Tempo médio	Efeitos à saúde da população em geral
0,8 - 1 ppm	Exposições repetidas	Percepção olfativa
Até 2 ppm	Única ou repetida exposição	Irritante a olhos, nariz e garganta
3 – 5 ppm	30 minutos	Lacrimação e intolerância por algumas pessoas
10 – 20 ppm	Tempo não especificado	Dificuldade na respiração e forte lacrimação
25 – 50 ppm	Tempo não especificado	Edema pulmonar, pneumonia, perigo de vida
50 – 100 ppm	Tempo não especificado	Pode causar a morte

Quadro 4 - Principais efeitos da exposição humana ao formaldeído

Fonte: INCA, sd apud World Health Organization (1989); IARC (1995);WHO Regional Office for Europe (1987).

2.4.1.5 Medidas de correção em ambientes interior - Poluentes químicos

A RE 09/03 da ANVISA (BRASIL, 2003) recomenda que sejam adotadas, para fins de pesquisa e para medidas de correção das situações encontradas, as possíveis fontes de poluentes químicos, conforme mostra o Quadro 5.

Agentes químicos	Principais fontes em ambientes interiores	Principais medidas de correção em ambientes interiores
CO	Combustão (cigarros, queimadores de fogões e veículos automotores)	Manter a captação de ar exterior com baixa concentração de poluentes; restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão; eliminar a infiltração de CO proveniente de fontes externas; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
CO ₂	Produtos de metabolismo humano e combustão	Aumentar a renovação de ar externo; restringir as fontes de combustão e o tabagismo em áreas fechadas; eliminar a infiltração de fontes externas.
NO ₂	Combustão	Restringir as fontes de combustão; manter a exaustão em áreas em que ocorre combustão; impedir a infiltração de NO ₂ proveniente de fontes externas; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
O ₃	Máquinas copiadoras e impressoras a laser	Adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores, com exaustão do ambiente ou enclausuramento em locais exclusivos para os equipamentos que apresentem grande capacidade de produção de O ₃ .
Formaldeído	Material de acabamento, mobiliário, cola, produtos de limpeza domissanitários	Selecionar os materiais de construção, acabamento e mobiliário que possuam ou emitam menos formaldeído; usar produtos domissanitários que não contenham formaldeído.
Material particulado	Poeira e fibras	Manter filtragem de acordo com NBR-6402 da ABNT; evitar isolamento termoacústico que possa emitir fibras minerais, orgânicas ou sintéticas para o ambiente climatizado; reduzir as fontes internas e externas; higienizar as superfícies fixas e os mobiliários sem o uso de vassouras, escovas ou espanadores; selecionar os materiais de construção e acabamento com menor porosidade; adotar medidas específicas para reduzir a contaminação dos ambientes interiores (vide biológicos); restringir o tabagismo em áreas fechadas.

(Continua...)

Quadro 5 - Possíveis fontes de poluentes químicos

Fumo de tabaco	Queima de cigarro, charuto, cachimbo, etc.	Aumentar a quantidade de ar externo admitido para renovação e/ou exaustão dos poluentes; restringir o tabagismo em áreas fechadas.
COVs COS-V	Cera, mobiliário, produtos usados em limpeza e domissanitários, solventes, materiais de revestimento, tintas, colas, etc.	Selecionar os materiais de construção, acabamento, mobiliário; usar produtos de limpeza e domissanitários que não contenham COV ou que não apresentem alta taxa de volatilização e toxicidade.
COVs COS-V	Queima de combustíveis e utilização de pesticidas	Eliminar a contaminação por fontes pesticidas, inseticidas e a queima de combustíveis; manter a captação de ar exterior afastada de poluentes.

(Conclusão)

Quadro 5 - Possíveis fontes de poluentes químicos
 Fonte: Resolução ANVISA 09 (BRASIL, 2003)

2.4.2 Poluentes Físicos

Os poluentes físicos, por sua vez, podem ser exemplificados pelas pequenas partículas inaláveis de poeira que, quando presentes em quantidades consideráveis, podem trazer, por si sós, consequências bem conhecidas aos indivíduos expostos.

2.4.2.1 As partículas ou aerossóis em suspensão

Partículas em suspensão ou aerossóis são definidos como a matéria sólida ou líquida em suspensão no ar, com diâmetro aerodinâmico entre 0,05 e 100 μm . A matéria particulada sólida é constituída por poeiras, fumo e organismos como vírus, grãos de pólen, bactérias e esporos de fungos; ao passo que as substâncias no estado de vapor constituem as partículas líquidas. O Valor Máximo Recomendável (VMR) para esse contaminante, pela Resolução CONAMA nº 03 (BRASIL, 1990) e adotado pela Resolução 09 da ANVISA (BRASIL, 2003) é de menor ou igual a 80 mg/m^3 de aerodispersóides totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado.

As partículas presentes em ambientes interiores são, geralmente, provenientes de fontes interiores e exteriores, e a inalação é a forma mais comum de entrada de partículas no organismo. Segundo Carmo e Prado (1999), a exposição crônica por vários anos em níveis moderados de particulados, em torno de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para matéria particulada em suspensão ou 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para matéria particulada inalável, parece estar correlacionada ao aumento de

sintomas e doenças respiratórias. A Figura 5 demonstra como pode acontecer a disposição de material particulado no aparelho respiratório.

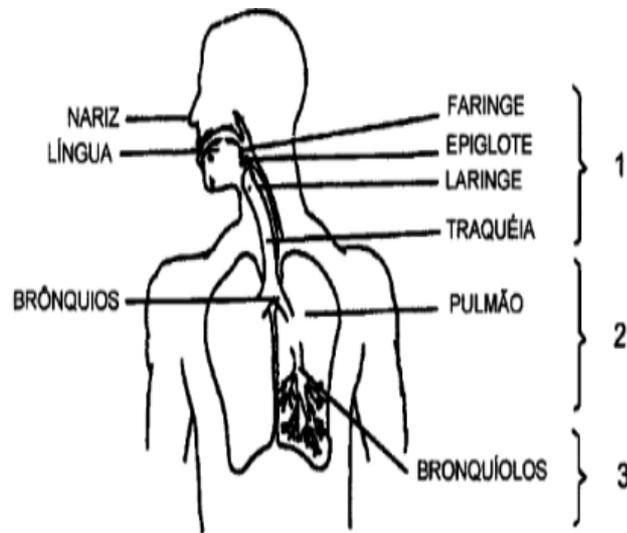


Figura 5 - Disposição de material particulado no aparelho respiratório
Fonte: Brickus e Aquino Neto (1999)

2.4.3 Poluentes Biológicos

Carmo e Prado (1999) expõem a contaminação microbiológica como um sério problema, sendo que são diversos os fatores que permitem o crescimento e a liberação desses agentes biológicos no ar interior.

Segundo Sodré (2006), nos espaços confinados, com pouca renovação do ar, podem-se acumular microrganismos como fungos e bactérias, oriundos de infiltrações ou da má conservação do sistema de condicionamento de ar.

Os principais fatores que permitem o crescimento e a distribuição de vários microrganismos, de acordo com diversos autores, são alta umidade, ventilação reduzida, edifícios “selados” e sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado que possuem água ou condensação em algumas partes (torres de resfriamento).

A contaminação do ar interior por microrganismos, nomeadamente fungos (bolores e leveduras) e bactérias, pode constituir um grave risco para a saúde (PORTUGAL, 2009). A exposição a tais agentes biológicos torna-se, assim, um risco para a saúde, causando uma vasta gama de efeitos nefastos.

Muitas das consequências normalmente citadas para a saúde humana são similares àquelas descritas para os contaminantes de natureza química, como as irritações da pele e do trato respiratório, as dermatites, as rinites, as conjuntivites, a asma, além de sintomas ou síndromes, tais como tosse, dores de cabeça, tonteira e mal-estar generalizado.

Com a finalidade de ilustrar alguns dos contaminantes biológicos que podem ser considerados mais importantes causadores de efeitos negativos em ambientes internos, as Figuras 6 e 7 mostram a concentração de microrganismos em um ambiente interior.



Figura 6 - Leveduras e bolores presentes no ambiente interno
Fonte: DE PAULA (2016)



Figura 7 - Manchas de umidade (bolor)
Fonte: ABREU, 2010

Bioaerossóis são definidos por IAQH (TSI INCORPORATED, 2013) como partículas suspensas no ar, grandes moléculas ou compostos voláteis que estão vivendo ou foram lançados

por um organismo vivo. A maior preocupação para a QAI, incluída nesta definição, são as plantas, e incluem ainda fungos, leveduras, bolores, mofo e pólen, bem como bactérias.

2.4.3.1 Bactérias

De acordo com APA (PORTUGAL, 2009), a principal fonte de bactérias no ar interior está ligada à presença humana e à origem fúngica, que é causada pelo ambiente e pode causar efeitos nefastos à saúde.

As bactérias são organismos unicelulares, procariontes, que podem ser encontradas de forma isolada ou em colônias. Bactérias podem ser um importante fator de risco para a QAI (PORTUGAL, 2009). Como exemplo de bactérias que podem ser transmitidas em ambientes internos, podem-se citar: *Nocardia sp*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Legionella*.

2.4.3.1.1 *Nocardia sp*

Nocardia sp é um microrganismo aeróbio, mais comumente encontrado em pacientes com deficiência de imunidade celular ou que recebem terapia com esteroides. Pode causar infecção conhecida como nocardiose, enfermidade crônica que se assemelha à tuberculose pulmonar, com origem nos pulmões e que pode se disseminar pela via sanguínea, produzindo abscessos cutâneos e, ocasionalmente, no cérebro e em outros órgãos. Sua infecção pode ocorrer por inalação do organismo do solo e materiais orgânicos em decomposição (TRABULSI, 2004 apud SALGUEIRO, 2006).

2.4.3.1.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa é um microrganismo responsável pela maioria das doenças infecciosas no homem. É um importante patógeno envolvido em infecções nosocomiais, cuja múltipla resistência aos antimicrobianos constitui um dos maiores problemas para a sua contenção.

É um microrganismo oportunista, ou seja, causa doença em condições especiais quando o organismo está debilitado por algum motivo. Pode causar infecções urinárias e respiratórias, pneumonia, endocardite e meningite. Pode ser encontrada em ambientes úmidos, por isso é muito frequente em aparelhos respiratórios, soluções de limpeza, alimentos, piscinas e outras águas de recreação. Sua importância clínica dá-se por sua difícil erradicação (TRABULSI, 2004 apud SALGUEIRO, 2006).

2.4.3.1.3 *Legionella*

Bactérias como a *Legionella* podem ser um importante fator de risco para a QAI. A doença do legionário é uma infecção que pode resultar em pneumonia, se for disseminada a partir de um ponto amplificador para uma zona em que se encontre presente um potencial hospedeiro. Torres de arrefecimento, condensadores de evaporação e sistemas de água quente podem ser considerados zonas de amplificação para a *Legionella*, que é disseminada no ar por aerossóis (PORTUGAL, 2009).

2.4.3.2 Fungos

Fungos são seres vivos eucarióticos, com um só núcleo, que se alimentam de matéria orgânica morta; suas células possuem vida independente, ou seja, não se reúnem para formar tecidos verdadeiros.

Os fungos podem também produzir COVs, com característico cheiro de bolor, que são libertados durante um período de crescimento rápido e de elevada atividade (PORTUGAL, 2009).

As espécies de fungos toxicogênicos/patogênicos bastante comuns são os *Paracoccidioides sp* e os fungos *Aspergillus sp*, e ainda o *Histoplasma capsulatum* e o *Cryptococcus neoformans*. Estas duas últimas espécies encontram-se relacionadas com a presença de excrementos de aves.

2.4.3.2.1 *Aspegillus sp*

Aspegillus sp é um fungo encontrado no solo, no ar, em plantas e em matérias orgânicas. É comum em laboratórios, hospitais, etc. É responsável pela aspergilose, doença oportunista que geralmente afeta indivíduos imunodeprimidos (TRABULSI, 2004 apud SALGUEIRO, 2006).

2.4.3.2.2 *Paracoccidioides sp*

Paracoccidioides sp é um fungo que pode causar a paracoccidioimicose. Pode ser adquirida por inalação de estruturas do fungo, atingindo os pulmões, principalmente, e a mucosa da boca. Admite-se que este viva no solo, em lugares úmidos e ricos em proteínas, com variações mínimas de temperatura (TRABULSI, 2004 apud SALGUEIRO, 2006).

2.4.3.3 Vírus

Os vírus podem invadir muitos organismos vivos e são parasitas intracelulares obrigatórios por possuírem poucos recursos necessários para seu metabolismo (RNA mensageiro e ribossomos, por exemplo). São geralmente causadores de doenças infecciosas. Os genes que codificam essas proteínas são altamente mutagênicos e é devido a estas mutações que os vírus são capazes de “driblar” o sistema imune, que passa a não mais reconhecer e atacar as proteínas da progênie viral mutante (RODRIGUES et al., 2007). Dentre os vírus que podem ser encontrados em atmosferas interiores de edificações, destacam-se: o vírus *Influenza* e o vírus sincicial respiratório.

2.4.3.3.1 *Vírus Influenza*

O vírus *influenza* causa uma infecção que se caracteriza por sintomas respiratórios. O que mais chama atenção nas epidemias deste vírus é a rapidez de disseminação e o índice extremamente alto de acometimento. Ele se encontra no ar e sua transmissão pode ocorrer pelo contato íntimo ou por gotículas do trato respiratório do indivíduo contaminado. O vírus *influenza* penetra no organismo através das mucosas do trato respiratório ou dos olhos e

dissemina-se para a corrente sanguínea, atacando as células a partir daí (RODRIGUES et al., 2007).

2.4.3.3.2 *Vírus Sincicial Respiratório (VSR)*

O Vírus Sincicial Respiratório (VSR) pode causar infecções na garganta, na traqueia, nos bronquíolos e nos pulmões. O indivíduo pode se contaminar por meio de gotículas contaminadas suspensas no ar, liberadas pelos indivíduos doentes ao tossirem e falarem; ou ainda por contato com pessoas infectadas e objetos contaminados. É o principal causador da bronquiolite (inflamação dos bronquíolos), e uma de suas possíveis causas são infecções respiratórias (SALGUEIRO, 2006).

2.4.3.4 Medidas de correção de fontes em ambientes interiores - Agentes biológicos

A RE 09/03 da ANVISA (2003) recomenda que sejam adotadas, para as possíveis fontes de poluentes causadas por agentes biológicos, para fins de correção das situações encontradas em ambientes internos, as medidas expostas no Quadro 6.

Agentes biológicos	Principais fontes em ambientes interiores	Principais medidas de correção em ambientes interiores
Bactérias	Reservatórios com água estagnada, torres de resfriamento, bandejas de condensado, desumificadores, umidificadores, serpentinas de condicionadores de ar e superfícies úmidas e quentes.	Realizar a limpeza e a conservação das torres de resfriamento; higienizar os reservatórios e as bandejas de condensado ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes; eliminar as infiltrações; higienizar as superfícies.
Fungos	Ambientes úmidos e demais fontes de multiplicação fúngica, como materiais porosos orgânicos úmidos, forros, paredes e isolamentos úmidos; ar externo, interior de condicionadores e dutos sem manutenção, vasos de terra com plantas.	Corrigir a umidade ambiental; manter sob controle rígido vazamentos, infiltrações e condensação de água; higienizar os ambientes e componentes do sistema de climatização ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes; eliminar materiais porosos contaminados; eliminar ou restringir vasos de plantas com cultivo em terra, ou substituir pelo cultivo em água (hidroponia); utilizar filtros G-1 na renovação do ar externo.

(Continua)

Quadro 6 - Possíveis fontes de poluentes biológicos

Protozoários	Reservatórios de água contaminada, bandejas e umidificadores de condicionadores de ar sem manutenção.	Higienizar o reservatório ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes.
Vírus	Hospedeiro humano.	Adequar o número de ocupantes por m ² de área com aumento da renovação de ar; evitar a presença de pessoas infectadas nos ambientes climatizados.
Algas	Torres de resfriamento e bandejas de condensado.	Higienizar os reservatórios e as bandejas de condensado ou manter tratamento contínuo para eliminar as fontes.
Pólen	Ar externo	Manter filtragem de acordo com NBR-6401 da ABNT.
Artrópodes	Poeira caseira	Higienizar as superfícies fixas e o mobiliário, especialmente os revestidos com tecidos e tapetes; restringir ou eliminar o uso desses revestimentos.
Animais	Roedores, morcegos e aves	Restringir o acesso; controlar roedores, morcegos, ninhos de aves e respectivos excrementos.

(Conclusão)

Quadro 6 - Possíveis fontes de poluentes biológicos
 Fonte: Resolução ANVISA 09, Brasil (2003)

Tais medidas corretivas devem ser priorizadas para evitar as consequências da exposição a esses agentes. A interação entre diversos fatores pode aumentar os níveis de contaminação do ar interior. Os efeitos da contaminação do ar interior por essas fontes podem conduzir ao fenômeno conhecido como Síndrome do Edifício Doente (SED).

2.5 SÍNDROME DO EDIFÍCIO DOENTE (SED)

A Organização Mundial da Saúde (OMS) adota SED como o termo usado para descrever situações nas quais os ocupantes de um determinado edifício experimentam efeitos adversos à saúde (WHO, 1983). Segundo Carmo e Prado (2009), SED é caracterizada por um estado transitório doentio nos usuários de um edifício, e os sintomas normalmente desaparecem quando os usuários afetados deixam o local.

Gioda e Aquino Neto (2003) salientam que considera que um edifício sofre de SED quando um número estatisticamente significativo de ocupantes de uma edificação apresenta sintomas como: irritação das mucosas, efeitos neurotóxicos, sintomas respiratórios e cutâneos

e alterações dos sentidos. Tais sintomas podem afetar a saúde do ocupante e interferir em suas atividades cotidianas.

Os fatores associados à SED são a elevação da taxa de absenteísmo (trabalhador que falta ao trabalho) e a redução na produtividade e na qualidade de vida do trabalhador, diante de sua exposição a um ambiente inadequado à ocupação (BREGINSKI, 2015).

O fenômeno SED reforça a importância da boa qualidade do ar em ambientes “selados”, devido à possível exposição dos ocupantes à presença de concentração de poluentes atmosféricos e ao tempo em que eles permanecem expostos. Dentre esses ambientes, trataremos particularmente das unidades escolares.

2.6 QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS: ESTUDOS INTERNACIONAIS

A qualidade do ar interior em ambientes escolares tem despertado interesse como área de estudos em diversos países. A relevância do tema reside no fato de que crianças diariamente passam horas em ambientes fechados, sendo que, nas séries iniciais, elas se encontram com seus organismos ainda em formação. Sendo assim, uma população sensível a substâncias tóxicas que podem estar presentes no ar interior dessas edificações. A QAI é um tema recente de estudos, sendo que a maioria dos estudos internacionais realizou-se na Europa, na América do Norte e na Ásia.

Jassen *et al.* (1999) realizaram o monitoramento da QAI em salas de aula em Amsterdã, na Holanda, e concluíram que o silício (Si), o cálcio (Ca) e o titânio (Ti) eram os elementos que se encontravam em maior concentração, oriundos de ressuspensão do solo.

Lee e Chang (2000), em estudo na cidade de Hong Kong, na China, avaliaram a QAI e o externo e o interno de cinco escolas, buscando caracterizar o nível e a poluição do ar, conforme as exigências da legislação. Nesse estudo, concluíram que os poluentes presentes em ambientes climatizados, que se apresentavam em altos níveis nos ambientes monitorados, eram de MP₁₀ e CO₂. Chaloulakou e Mavroidis (2002), na Grécia, realizaram análise da concentração de monóxido de carbono (CO) em uma escola e das taxas de renovação do ar através de medição simultânea para avaliar a qualidade do ar interior e exterior, e demonstraram que as concentrações de CO em ambientes internos, em geral, encontravam-se mais baixas do que os respectivos níveis de ambientes externos.

Bartlett *et al.* (2004), em investigação realizada em escolas da Columbia Britânica, no Canadá, verificaram que, em salas de aula com sistema de ventilação artificial, as concentrações médias de fungos encontravam-se inferiores em comparação a ambientes com ventilação natural.

Na França, Blondeau *et al.* (2005) fizeram o monitoramento das concentrações de ozônio, óxidos de nitrogênio, material particulado, temperatura e umidade de oito edifícios escolares, ventilados natural e artificialmente. Nesse estudo, concluiu-se que, para avaliar a exposição de crianças, é necessário o conhecimento das concentrações dos contaminantes, bem como os parâmetros que podem influenciar a relação entre a qualidade do ar interior e exterior. A partir desses dados, podem-se estimar as concentrações de interiores, o que pode ser usado na concepção de edifícios para que protejam as crianças contra a poluição atmosférica.

Godwin e Batterman (2007), em Michigan, nos Estados Unidos, pesquisaram 64 salas de aula e fizeram a comparação dos níveis internos e externos das taxas de ventilação, COVs, bioaerossóis, umidade relativa do ar e temperatura. Como resultados do estudo, verificaram que as salas apresentaram baixos níveis de COVs e bioaerossóis, limites aceitáveis de temperatura e umidade, porém baixas taxas de ventilação.

Na Suécia, Kim *et al.* (2007) desenvolveram estudo em oito escolas primárias de Uppsala sobre a exposição de crianças a agentes patogênicos, presentes em compostos orgânicos voláteis, e comprovaram que essa exposição pode causar o desenvolvimento de doenças.

Na cidade grega de Atenas, Santamouris *et al.* (2008) realizaram estudo sobre os fluxos de ar e a concentração de dióxido de carbono em salas de aula com ventilação natural. A pesquisa mostrou a existência de relação entre a temperatura e a abertura da janela, e que a diferença entre a temperatura do ar exterior e interior pode influenciar a QAI.

Em Portugal, Fraga *et al.* (2008) avaliaram a temperatura e a umidade associados à QAI e a prevalência de doenças respiratórias, por concentração de CO₂ e COVs, em escolas da cidade do Porto. Os piores indicadores, associados a doenças alérgicas e respiratórias, foram de concentração de CO₂.

Heudorf, Neitzertb e Spark (2009) avaliaram o impacto causado pela limpeza e ventilação na qualidade do ar em salas de aula de escolas de ensino primário, em Frankfurt, na

Alemanha. No estudo, os níveis de CO₂ foram muito elevados e poderiam ser diminuídos com ventilação ampliada.

Na Coreia, Wonho *et al.* (2009) investigaram a qualidade do ar interior em escolas em relação à idade da construção, com o objetivo de caracterizar as concentrações de CO, CO₂, MP₁₀, COVs, formaldeído e contagem de colônias de microrganismos, durante as diferentes estações do ano. A causa de poluição do ar interior nessas escolas foram as substâncias químicas emitidas por materiais de construção ou mobiliário.

Mumovic *et al.* (2009), na Inglaterra e em Gales (Reino Unido), realizaram a avaliação da qualidade do ar e dos parâmetros de conforto térmico e acústico de nove escolas que passaram por obra de construção civil. No estudo, descrevem o grande desafio de projetar salas de aula com interação entre ventilação, conforto térmico e acústico.

Wichmann *et al.* (2010) realizaram estudos em escolas suecas da cidade de Estocolmo e verificaram que os principais ambientes ocupados por crianças oferecem pouca proteção contra os poluentes do ar, ligado a fatores de infiltração, tipo de ventilação e taxas de renovação do ar.

As concentrações de COVs, incluindo-se o formaldeído, em escolas de séries iniciais, em Izmir, na Turquia, foram investigadas por Sofuoglu *et al.* (2011) nas diferentes estações do ano, quando avaliaram os riscos tóxicos, crônicos e carcinogênicos desses poluentes. O benzeno, o tolueno e o formaldeído foram os compostos mais abundantes; o naftaleno e o xileno seguiram em uma ordem de magnitude de concentração mais baixa. O formaldeído foi o poluente mais preocupante, por possuir altos níveis de concentração e alto risco de toxicidade, por ser carcinogênico, seguido de naftaleno, benzeno e tolueno, por seus efeitos crônicos nocivos à saúde.

O estudo de Shaughnessy, Moschandreas e Shaughnessy (2011) relacionou as taxas de ventilação em salas de aula ao desempenho de estudante do ensino fundamental nos Estados Unidos. Uma das conclusões desse trabalho foi que, quanto maior a taxa de ventilação, melhor o rendimento dos estudantes.

Em Lisboa, Portugal, Almeida *et al.* (2011) mediram os níveis de concentrações de MP_{2,5} e MP_{2,5-10} em escolas primárias, visando verificar as possíveis fontes de MP e estabelecer a relação entre as concentrações do ambiente interno e externo para a concentração de CO₂. Os

resultados obtidos no estudo indicaram forte contribuição de materiais e partículas de giz utilizados no quadro negro.

Em escolas de Atenas, foram avaliadas de forma holística, por Dascalaki e Sermepetzoglou (2011), a eficiência energética, o conforto térmico e a QAI. O potencial de medidas de conservação de energia foi assim avaliado frente à redução de emissão de gases, e o objetivo do estudo foi demonstrar as vantagens ambientais da conservação da energia.

No nordeste italiano, em sete escolas próximas a Veneza, De Giuli, Da Pos e De Carli (2012) fizeram uso de monitoramento e aplicação de questionários sobre a percepção ambiental. O monitoramento revelou níveis altos de CO₂ e queixas em relação a condições térmicas e à qualidade do ar ruim.

O estudo de Rosbach *et al.* (2013), em salas de aula de escolas do nordeste da Holanda, sobre saúde ambiental relacionada à ventilação forçada, buscou investigar o efeito da ventilação mecânica controlada com CO₂. Foram analisados CO₂, temperatura e umidade relativa durante as épocas de aquecimento. O estudo mostrou, através de associações entre a ventilação e os níveis de CO₂, que os níveis poderiam ser reduzidos através da intervenção de ventilação mecânica controlada.

Na cidade de Coimbra, em Portugal, Ferreira e Cardoso (2013) fizeram a análise da qualidade do ar em escolas de educação básica e suas condições estruturais e funcionais. As escolas avaliadas que apresentaram qualidade do ar e conforto térmico em níveis satisfatórios foram a maior parte, porém a concentração CO₂ mostrou a necessidade de medidas corretivas, como reduzir as fontes de emissão dos poluentes atmosféricos aumentando as trocas de ar e melhorando o sistema de ventilação. O estudo mostrou associação entre a falta de ventilação nas crianças e a exposição a altos níveis de CO₂.

O estudo realizado por Fadeyi *et al.* (2014) em escolas na aldeia de Fujairah, em Dubai, nos Emirados Árabes, para analisar condições urbanas e rurais, mostrou que as crianças nas salas de aula foram expostas a condições precárias no que se refere à QAI. As condições examinadas incluem os níveis de compostos orgânicos voláteis totais, CO₂, CO, ozônio (O₃), H₂CO e MP, temperatura, umidade, iluminação, condições acústicas e ruídos. Os níveis encontrados foram muito superiores ao recomendado pela legislação local. Os autores relatam, dentre outras, como influência para tais resultados a infiltração dos ambientes, o estado de conservação e o tipo de material construtivo.

O estudo realizado por Fuoco *et al.* (2015) para caracterizar a qualidade do ar interior em salas de aula naturalmente ventiladas de três escolas localizadas em Cassino, na Itália, avaliou a influência de fontes internas e externas, por efeito da ventilação sobre as concentrações de poluentes internos. O estudo verificou que a abertura de janelas pode contribuir para a melhoria da qualidade do ar e diminuir assim o nível de concentração dos poluentes. Porém, em horários de pico de trânsito no entorno, essa medida introduz poluentes externos, prejudicando a QAI.

Um estudo bastante recente de Bluysen (2016), sobre materiais de revestimento ligados à QAI, à saúde e ao desempenho de crianças, concluiu que as condições ambientais interiores afetam a saúde, o conforto e o desempenho escolar, mas também que o comportamento e as atividades executadas pelos alunos influenciam as condições ambientais. A autora identificou que os materiais de revestimento pode influenciar a QAI, porém as condições ambientais também podem influenciar os materiais de revestimento (BLUYSSSEN, 2009).

2.7 QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESCOLAS: ESTUDOS NACIONAIS

Apesar do risco de exposição de crianças em ambientes escolares, no Brasil, essa área de estudo é muito recente, e estudos relacionados à concentração de poluentes em ambientes internos de escolas no país ainda são poucos e isolados, sendo os primeiros na região Sudeste e, atualmente, de uma maneira muito lenta, começam a estender-se para outras regiões.

Mesquita e Araújo (2006) analisaram os níveis de CO₂, temperatura e umidade do ar nas salas de aula em uma universidade de Fortaleza (CE). A pesquisa revelou níveis de CO₂ altos, acima dos recomendados nas normas nacionais em praticamente todos os ambientes com climatização artificial.

Coutinho Filho *et al.* (2006), em João Pessoa (PB), fizeram a avaliação do conforto ambiental de uma escola municipal e concluíram que as salas de aula monitoradas não atendiam às normas nacionais para conforto térmico, lumínico e acústico.

Avigo Júnior (2008), por meio de análise química para MP e COVs, realizou estudo em Curitiba, concluindo a partir de monitoramento e caracterização que o trânsito estava comprometendo a qualidade do ar das escolas em estudo.

Alves (2009) buscou estabelecer a correlação entre a emissão de poluentes provindos de indústrias de cal da região de Colombo, no Paraná, e os efeitos que material particulado pode causar à saúde das crianças nas escolas próximas. O autor realizou a análise do ar interior e exterior de salas de aula e identificou a interferência nos elementos que se encontravam em níveis elevados de concentração, como Ca, S, Cl Pb e As, chegando à conclusão de que partículas dentro do ambiente são potencialmente prejudiciais à saúde das crianças expostas.

Em Itumbiara, no estado de Goiás, Morais *et al.* (2010) avaliaram a qualidade microbiológica do ar interno por meio de contagens bacterianas em uma instituição de ensino superior. Na pesquisa, 51% das salas avaliadas encontravam-se acima do limite proposto pela ANVISA, podendo ocasionar sérios riscos à saúde.

Comin (2012), em salas de aula de uma escola na cidade de São Carlos-SP, realizou o monitoramento da qualidade do ar interior e exterior pelos parâmetros: material particulado total (MPT) e suas frações respiráveis ($MP_{2,5}$ e MP_{10}), temperatura, umidade, CO_2 e ruídos. Os níveis de concentração de poluentes foram associados à sazonalidade, com maiores níveis encontrados no período de seca. O local escolhido para a pesquisa possui intenso tráfego urbano e veicular no entorno e, para todos os parâmetros monitorados, apresentou níveis mais elevados no ambiente interno. O estudo identifica a presença dos elementos químicos provenientes tanto de fontes externas quanto internas.

Gomes e Correia (2013) realizaram estudo em duas escolas do Rio de Janeiro (RJ) para verificar a presença de compostos carbonílicos. Concluíram a presença de carbonilas, através das faixas de variação de formaldeído, acetaldeído e acetona + acroleína por meio de análise cromatográfica que, pela razão ar interior/exterior, apontaram taxas de ventilação deficiente.

O estudo de Gonçalves Júnior (2014), em Curitiba, no Paraná, objetivou avaliar a influência das atividades do entorno de escolas sobre a qualidade do ar interior, por análises de material particulado total e de partículas individuais. Como resultado, obteve o indicativo de que as atividades de entorno proporcionam má qualidade do ar nas escolas, devido à forte presença de partículas inaláveis.

Breginski (2015), na cidade Curitiba, realizou estudo sobre a presença de formaldeído buscando estabelecer a relação causal entre mobiliário, materiais de construção e emissão de formaldeído em sala de aula construída em *wood frame*. A investigação comprovou a existência de concentração do poluente nos ambientes.

Em um estudo de caso recente, para identificar os teores de CO, CO₂, umidade relativa do ar e temperatura em salas de aula da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Carvalho (2016) utilizou questionários de percepção e realizou o monitoramento dos poluentes. No estudo, o autor concluiu que os níveis de CO₂ estavam acima dos limites estabelecidos pelas normas vigentes no país e pelos padrões da Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA.

No estado de Mato Grosso, em um estudo pioneiro, Luciano (2015) buscou definir as ótimas concentrações de CO₂ em de salas de aula climatizadas artificialmente, em instituições de quatro cidades de diferentes zonas bioclimáticas. As cidades escolhidas para a coleta de dados foram: Cáceres, situada nas áreas de depressão cuiabana e do pantanal mato-grossense, com clima classificado como tropical megatérmico subsumido; Cuiabá, localizada no centro-sul do estado, com clima quente semiúmido; Primavera do Leste, na porção centro-sul do estado de clima tropical continental; e Sinop, na conhecida Amazônia legal de clima equatorial continental. O referido estudo realizou-se nas estações de chuva e seca, com medições *in loco* através do uso simultâneo de sensores e questionários, para obter um diagnóstico dos usuários em relação à qualidade do ar. O estudo verificou que a concentração de limite ótimo de CO₂ na estação seca foi de 2600 ppm; e para a estação chuvosa, foi de 600 ppm; que pelo voto médio, o tempo de exposição diminui a sensibilidade dos usuários em relação às substâncias inodoras. No período da manhã, os usuários mostraram-se mais sensíveis à qualidade do ar, assim foi identificada a necessidade de melhorias na renovação do ar nos ambientes.

No município de Cuiabá, Caixeta *et al.* (2016) realizaram o monitoramento da qualidade do ar em salas de aula da rede pública, onde em nove de onze pontos a concentração de bactérias permaneceu acima das recomendações legais em, pelo menos, um dos meses de análise. O estudo ressalta a ausência de políticas preventivas como determinante para a ocorrência de poluentes biológicos nas escolas.

Dentre os poluentes investigados tanto por estudos nacionais quanto internacionais, o formaldeído mostra-se um dos poluentes mais preocupantes por sua toxicidade; e o CO₂ está fortemente ligado a questões de renovação do ar, influência na saúde e desempenho dos estudantes.

Segundo Salthammer, Mentese e Marutzky (2010), Poulhet *et al.* (2014) e Breginski (2015), o formaldeído é o mais comum e mais conhecido entre os poluentes do ar interior. Devido à presença desse poluente, cresceu o interesse em estudar as causas e os efeitos da sua

concentração no interior de edificações escolares, pelo alto risco de exposição de crianças (WHO, 2010).

2.8 FORMALDEÍDO EM ESCOLAS

Vários são os estudos que trazem como tema a presença de formaldeído em ambientes escolares. A principal motivação para tais estudos é sua toxicidade. Poulhet *et al.* (2014) descrevem que o formaldeído é reconhecidamente causador de efeitos deletérios à saúde. O formaldeído é o poluente que ocorre em maior frequência nas atmosferas interiores (BREGINSKI, 2015).

Uma revisão sistemática dos principais estudos realizados sobre a presença de formaldeído em escolas, nos últimos dez anos, foi apresentada no 4º Encontro de Engenharia de Edificações e Ambiental - 4º EEEA, da Universidade Federal de Mato Grosso, no ano de 2016, por Araújo e Carmo Júnior (2016). Os resultados desse estudo são apresentados na sequência, e a síntese dos principais estudos encontram-se no Quadro 7.

Segundo os resultados do estudo citado, os fatores de influência na concentração de formaldeído em ambientes internos de escolas foram descritos em estudos de Alves e Aciole (2012), Jean *et al.* (2012), Gomes (2014), Kalimeri *et al.* (2016), Yang *et al.* (2015) e Salthammer, Mentese e Marutzky (2010).

As metodologias de amostragem de concentração de formaldeído em escolas, de acordo com o estudo de Araújo e Carmo Júnior (2016), são apresentadas nos trabalhos de Alves e Aciole (2012), Breginski (2015), Jean *et al.* (2012), Poulhet *et al.* (2014) e Salthammer, Mentese e Marutzky (2010).

As normas de valores máximos de emissão adotados por vários países são encontradas nos estudos de Aves e Aciole (2012), Breginski (2015), Dales *et al.* (2008), Gomes (2014) e Salthammer, Mentese e Marutzky (2010).

Estudo	Ano	Local
Alves e Acirole	(2012)	Lisboa - Portugal
Breginski	(2015)	Curitiba - Brasil
Dales <i>et al.</i>	(2008)	Canadá
Gomes	(2014)	Rio de Janeiro – Brasil
Jean	(2012)	Montreal - Canadá
Kalimeri	(2016)	Kozani - Grécia
Poulhet	(2014)	França
Salthammer	(2010)	Alemanha
Sodré	(2006)	Rio de Janeiro - Brasil
Yang <i>et al.</i>	(2015)	Seoul - Korea
Zhang	(2009)	Califórnia - EUA

Quadro 7 - Síntese dos trabalhos sobre formaldeído nas escolas

Fonte: Adaptado de Araújo e Carmo Júnior (2016)

2.8.1 Fontes de emissão e fatores que interferem na concentração de formaldeído no ambiente interior de escolas

Alguns fatores podem exercer influência sobre a presença de formaldeído em ambientes internos de escolas, alterando a qualidade ambiental no interior. Tais fatores podem ser físicos, como temperatura, umidade relativa do ar e tipo de ventilação, e as fontes de emissão podem ser de origens internas ou externas. Diversos autores descrevem como principais fontes de emissão de formaldeído em escolas os materiais construtivos e de decoração, podendo ainda advir de materiais de limpeza.

Zhang *et al.* (2009) verificaram a exposição ao formaldeído no ar interior e concluíram que a emissão desse poluente tem origem em artigos de decoração. Salthammer, Mentese e Marutzky (2010), em sua revisão bibliográfica, constataram que a exposição ao formaldeído pode ocorrer após obras de construção e reforma e que os efeitos adversos para a saúde causados por essa exposição são agravados com o aumento da umidade relativa do ar.

Poulhet *et al.* (2014), em seu estudo, identificaram mais de 29 fontes de emissão de formaldeído em escolas públicas francesas, destacando principalmente as emissões decorrentes de materiais construtivos e de decoração, dentre eles a madeira e a espuma, e em grande

quantidade oriundas do teto. Yang *et al.* (2014), em Seul, na Coreia, no estudo realizado em escolas, encontraram maiores concentrações de formaldeído em escolas onde haviam ocorrido reformas recentemente. Kalimeri *et al.* (2016), ao realizarem estudos sobre a qualidade do ar de escolas gregas, confirmam forte influência de materiais construtivos nas concentrações de formaldeído nos ambientes estudados.

Jean *et al.* (2012) concluíram que os níveis baixos de formaldeído em ambientes internos de creches de Montreal, no Canadá, podem ser explicados pela presença de um sistema de ventilação mecânica.

Segundo Breginski (2015), o formaldeído é um dos principais constituintes de diversas resinas sintéticas, estando também presente nos materiais de decoração, nos painéis de aglomerado, MDF, colas, carpetes e tintas, sendo assim fontes de emissão de formaldeído em ambientes interiores.

Salthammer, Mentese e Marutzky (2010), bem como Gomes (2014), descrevem a existência de variação entre a sazonalidade e a concentração de poluentes, dentre eles o formaldeído. Sendo assim, a sazonalidade é um importante fator de influência na concentração desse poluente.

2.9 DIÓXIDO DE CARBONO NAS ESCOLAS

As concentrações de dióxido de carbono são alvo de muitos estudos sobre qualidade do ar interior nas escolas. Os fatores de influência da concentração de dióxido de carbono relatados são renovação do ar e tipo de ventilação (LEE; CHANG, 2000; HEUDORF; NEITZERTB; SPARK, 2009; SANTAMOURIS *et al.*, 2008; ROSBACH *et al.* 2013; FERREIRA; CARDOSO, 2013; COMIN, 2012; LUCIANO, 2015).

O CO₂ é o principal indicador das condições de renovação de ar em espaços fechados e sugere deficiência na renovação de ar no interior nas escolas (FERREIRA; CARDOSO, 2014).

Comin (2012), através de correlação cruzada, associa as concentrações de dióxido de carbono com os índices pluviométricos. Diferentes níveis de concentração de CO₂ foram encontrados em estudos realizados em estações sazonais distintas, e estudos apresentam influência da temperatura e da umidade relativa do ar (COMIN, 2012; FERREIRA; CARDOSO, 2014; LUCIANO, 2015).

As principais metodologias de amostragem de concentração de CO₂ em escolas são por equipamento de leitura direta através de sensor infravermelho não dispersivo (COMIN, 2012; NASCIMENTO, 2008; BREGINSKI, 2015; FERREIRA; CARDOSO, 2014; LUCIANO, 2015). Em todos os estudos acima citados, são descritas as normas de valores máximos de emissão adotados por diversos países.

2.9.1 Fontes de emissão e fatores que interferem na concentração de dióxido de carbono no ambiente interior de escolas

Comin (2012) e Luciano (2015) relatam que os maiores níveis de CO₂ em salas de aula são causadas pela respiração humana durante a ocupação dos espaços. O trânsito do local também compromete a qualidade do ar das escolas (AVIGO JUNIOR, 2008).

2.10 ENQUADRAMENTO LEGAL

Os padrões de qualidade do ar definem os valores máximos para a concentração de poluentes que assegurem a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos sobre os efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada (CETESB, 2010).

2.10.1 Padrões nacionais de qualidade do ar

No Brasil, a poluição em ambientes externos teve seu marco regulatório a partir do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), criado através da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA n° 005, de 15 de junho de 1989 (BRASIL, 1989). O PRONAR tem por objetivo a proteção da saúde e o bem-estar da população e estabelece limites para os níveis de emissão de poluentes. Os padrões nacionais de qualidade do ar no Brasil foram instituídos através da Portaria Normativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, n° 348, de 14 de março de 1990; e da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA n° 003, de 28 de junho de 1990 (BRASIL, 1990).

No Brasil, altos níveis de exposições a algumas substâncias são permitidos por padrões pouco restritivos, ou pela ausência de legislação restritiva. Os padrões instituídos através da Portaria Normativa IBAMA nº 348, de 14/03/90; e da Resolução CONAMA nº 003, de 28/06/1990, são:

- Padrão primário de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- Padrão secundário de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Na Tabela 1, são apresentados os padrões de qualidade do ar e os limites máximos de concentração em conjunto com a referência temporal para os principais poluentes fixados pela Resolução 03, de 1990, do CONAMA.

Tabela 1 - Padrões de qualidade do ar e limites de exposição

Poluentes	Padrão primário		Padrão secundário	
	Concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tempo de amostragem	Concentração em $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tempo de amostragem
Partículas Totais em Suspensão - PTS	80	1 ano	60	1 ano
	240	24 horas	150	24 horas
Partículas Inaláveis -PI(<10 μm)	50	1 ano	50	1 ano
	150	24 horas	150	24 horas
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	80	1 ano	40	1 ano
	365	24 horas	100	24 horas
Monóxido de carbono (CO)	10.000 (9ppm)	8 horas	10.000 (9ppm)	8 horas
	40.000 (35ppm)	1 hora	40.000 (35ppm)	1 hora
Dióxido de nitrogênio	100	1 ano	100	1 ano
	320	1 ano	190	1 hora
Fumaça	60	1 ano	100	24 horas
	150	24 horas	40	1 ano
Ozônio (O ₃)	160	1 hora	160	1 hora

Fonte: Brasil (1990)

2.10.2 Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores

A Portaria nº 3523, de 28 de agosto de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), foi pioneira sobre qualidade do ar em ambientes internos e aprovou o regulamento técnico para manutenção e limpeza de sistemas de climatização de ambientes.

A ANVISA, através da RE 09/2003 (ANVISA, 2003), intitulada “Qualidade do Ar Ambiental Interior”, publicou orientações técnicas sobre “Padrões Referenciais da Qualidade do Ar de Interiores em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo”. A RE 09/2003 revisou a Resolução nº 176, de 24 de outubro de 2000, atualizando os padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público, incluindo recomendações presentes na NBR 6401, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sobre temperatura, umidade, velocidade e taxa de renovação do ar.

A RE 09/2003 da ANVISA define como Padrão Referencial de Qualidade do Ar Interior o marcador qualitativo e quantitativo de qualidade do ar ambiental interior, utilizado como sentinela para determinar a necessidade de busca das fontes poluentes ou das intervenções ambientais. Apesar de reconhecer que o formaldeído e os COVs são reconhecidamente poluentes químicos do ar interior, a RE 09/2003 não estabelece padrões ou limite de exposição, apenas faz algumas sugestões de medidas corretivas para a exposição a tais poluentes.

Diversos compostos exercem influência na qualidade do ar interno, por isso o Ministério do Trabalho instituiu a Norma Regulamentadora 015 - NR 15, quando se tratar da análise em ambientes industriais. Além desta, a título de comparação, por não apresentarem valor legal no Brasil, podem-se utilizar padrões de referência internacionais (SCHIRMER *et al.*, 2011).

Os padrões e diretrizes definidos por várias agências e organizações internacionais oferecem valores de referência de concentrações aceitáveis para alguns poluentes presentes no ar interior, que são empregados por pesquisadores para avaliar a QAI.

2.10.3 Normas de concentração de formaldeído para qualidade do ar interior

A Organização Mundial de Saúde (OMS) indica como referência a concentração média de 0,1 mg/m³ para 30 min de exposição (WHO, 2010). O Brasil não possui ainda padrões máximos aceitáveis para emissão de formaldeído em ambientes internos não industriais. Os materiais de construção e decoração, tais como tintas, vernizes, carpetes e placas de madeira

composta não são fiscalizados em relação à emissão de formaldeído (BREGINSKI, 2015). A Norma Regulamentadora nº 15 (NR 15), do Ministério do Trabalho e Emprego (BRASIL, 1978), determina valores máximos e o limite de exposição para jornadas de trabalho de 48 horas semanais de 1,6 ppm, sendo que esse limite não deve ser ultrapassado em momento algum do trabalho.

A NR 15 apresenta valor do limite de exposição maior que em outros países e organizações. Os limites de concentração estabelecidos por diversas organizações e pela NR 15 para formaldeído, apenas a título de comparação, são expostos no Quadro 8.

País	Valor	Organização	Referência
Brasil	1,6 ppm ou 2,3 mg/m ³ para 48 horas de exposição semanal.	MTE*	NR15
Coreia	0,1 ppm (120 ug / m ³) como média de 8 horas	Air Quality Standard in Office and Indoor Air Quality Management Act in	Salthammer, Mentese e Marutzky (2010)
Austrália	0,08 ppm (100 ug / m ³) como de curta duração	NHMRC**	Salthammer, Mentese e Marutzky (2010)
Portugal	0,1 mg/m ³ para certificação de Qualidade do Ar Interior	Lei portuguesa	Santos (2012) <i>apud</i> Breginski (2015)
EUA	0,75 ppm ou 0,108 mg/m ³ por 8 horas de exposição 2 ppm ou 2,87 mg/m ³ para 15 minutos de exposição	OSHA***	Breginski (2015)
Reino Unido	100 µg/m ³ para 30 minutos de exposição	COMEAP****	Breginski (2015)
Suécia	0,08 ppm (0,1 mg / m ³)	OMS*****	Salthammer, Mentese e Marutzky (2010)
Alemanha	50 µg/m ³ para até 24 horas por dia 100 µg/m ³ para exposição de 8 a 10 h/dia	BFR*****	(Breginski ,2015)
Canadá	Exposição a curto prazo: 100 ppb (123 ug / m ³) por 1 hora de exposição Exposição a curto prazo: 40 ppb (50 mg / m ³) por 8 horas de exposição	Health Canada	Dales <i>et al.</i> (2008)

*Ministério do Trabalho e Emprego - MTE; ** Conselho de Investigação de Saúde e Médico Nacional da Austrália - NHMRC; ***Departamento de Segurança Ocupacional e Administração de Saúde dos Estados Unidos-OSHA; **** Committee on the Medical Effects of Air Pollutants - COMEAP; ***** Organização Mundial de Saúde - OMS; ***** Bundesinstitut für Risikobewertung - BFR.

Quadro 8 - Limites de concentração estabelecidos por organizações e pela NR-15 para formaldeído

Fonte: Araújo e Carmo Júnior (2016)

A NBR 16.401, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, lançada no ano de 2008, em sua terceira parte, aborda a qualidade do ar interior, a vazão de ar exterior, a vazão eficaz, a vazão da zona de ventilação e a vazão de ar exterior a ser suprida pelo sistema. Tal norma é baseada nas regras da American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE, 2004), em especial, a 62.1-2004, a qual estabelece os valores mínimos para filtragem do ar e os aspectos construtivos dos equipamentos, os quais nem sempre são atendidos nas edificações escolares.

2.10.4 Normas de concentração de dióxido de carbono para qualidade do ar interior

No Brasil, a RE 09/2003, da ANVISA, recomenda 1.000 ppm como o valor máximo para a concentração de CO₂ em ambientes internos. Os limites de concentração estabelecidos por diversas organizações de diversos países e pela Organização Mundial da Saúde para concentração de dióxido de carbono são expostos no Quadro 9.

País	Valor	Organização	Referência
Brasil	1000 ppm	ANVISA*	Brasil (2003)
Coreia	1000 ppm	Lei coreana	Lee e Chang (2000)
Austrália	5000 ppm	NHMRC**	Abdul Wahab <i>et. al.</i> (2015)
Portugal	984 ppm	Lei portuguesa	Ferreira e Cardoso (2008)
EUA	600 ppm 800 ppm	NIOSH EPA	Abdul Wahab <i>et. al.</i> (2015)
Organização Mundial de Saúde	1000 ppm	OMS*****	OMS (2006)

*Agência Nacional de Vigilância Sanitária; ** Conselho de Investigação de Saúde e Médico Nacional da Austrália - NHMRC; *** **** Organização Mundial da Saúde - OMS.

Quadro 9 - Limites de concentração estabelecidos por organizações e pela RE 09/2003 (ANVISA) para CO₂

Fonte: A Autora

Na Alemanha, a norma DIN EN 13799, procedente da DIN 1946, classifica a qualidade do ar interior com a aplicação de limites na concentração de CO₂ em quatro categorias, conforme o Quadro 10.

Categoria	Descrição da qualidade do ar interior	Intervalos de concentração de CO₂
RAL 1	Especial	CO ₂ ≤ 400 ppm
RAL 2	Alta	400 < CO ₂ ≤ 600 ppm
RAL 3	Média	600 < CO ₂ ≤ 1000 ppm
RAL 4	Baixa	CO ₂ > 1000 ppm

Quadro 10 - Classificação da qualidade do ar em categorias, segundo a norma alemã DIN EN 13779: 2004. A sigla RAL significa “Raumlufi” (ar interior)

Fonte: Luciano (2015)

2.11 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E MEDIÇÃO DE POLUENTES DO AR INTERIOR

Para descrever os métodos de amostragem e monitoramento, pode-se separar os poluentes por tipologia. A rigor, pode-se dividir os tipos de poluentes em: materiais particulados, aerossóis, vapores e gases (BRICKUS; AQUINO NETO, 1999).

A seguir, são descritos os métodos de amostragem de aerodispersóides, bioaerossóis, dióxido de carbono e temperatura e umidade normatizados no Brasil.

2.11.1 Amostragem dos poluentes

Existem diversos métodos de amostragem de poluentes, devendo sempre analisar o método que possa ser mais eficiente e economicamente viável, de acordo com a norma vigente.

2.11.2 Aerodispersóides

A amostragem de aerodispersóides no Brasil é normatizada pela RE 09/03, da ANVISA, através da Norma Técnica (NT) 004 (ANVISA, 2003), que especifica que a coleta deve realizar-se por meio de filtração. O processo de amostragem consiste na utilização de bomba de amostragem de aspiração que coleta o ar, a uma vazão recomendada de 2 L/min, forçando a passagem do ar por uma unidade de captação constituída por filtros de PVC, com diâmetro de 37 mm e porosidade de 5 µm de diâmetro de poro específico para poeira total a ser coletada. A amostragem deve ser realizada por um tempo determinado em função do volume de ar amostrado, variando de 50 a 400 L.A. A concentração é determinada após procedimento laboratorial com periodicidade semestral.

Até o momento, nenhuma metodologia padrão foi definida para o controle da qualidade microbiológica do ar de ambientes internos. Os vários métodos disponíveis para a coleta e enumeração de microrganismos do ar de características peculiares dificultam a elaboração de uma metodologia padronizada (NUNES, 2005).

2.11.3 Método de amostragem para bioaerossóis

A metodologia utilizada no Brasil para determinação deste marcador epidemiológico é a contida na Resolução nº 9 (ANVISA, 2003), através da Norma Técnica 001 (NT 001), que estabelece os métodos de amostragem e análise de bioaerossóis em ambientes interiores. A NT 001 estabelece que a coleta de amostras deve ser feita semestralmente e realiza-se através do uso de um impactador linear de 1, 2 ou 6 estágios.

A referida norma estabelece que o ar deve ser coletado a uma vazão de 28,3 L/min, durante um período de 10 minutos. Após a aspiração, o ar passa através de um meio filtrante, sendo forçado a depositar-se em uma placa de petri, onde está contido o meio de cultura. O método de cultivo e a quantificação seguem normatizações universalizadas, com o tempo mínimo de incubação de 7 dias a 25⁰C, permitindo o total crescimento dos fungos. A norma estabelece que, para coleta de fungos, deve-se preferencialmente utilizar o Agar Extrato de Malte, Agar Sabourad ou Destrose a 4%, Agar Batata Dextrose ou outro, desde que cientificamente validado.

Para realização da amostragem, deve ser selecionada uma amostra de ar interior localizada nas proximidades da entrada da tomada de ar externa, na altura de 1,50 m do solo. Para determinação do número de amostras a serem efetuadas, deve-se observar a área construída do edifício conforme a tabela contida na referida norma, selecionando ao menos uma amostra de ar interior por andar ou de cada área servida por um equipamento condicionador de ar.

2.11.4 Método de amostragem de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar

A APA (PORTUGAL, 2009) descreve várias influências que a temperatura e a umidade do ar podem causar na QAI. A umidade relativa a níveis baixos está associada ao aumento do desconforto e à secagem das membranas, das mucosas e da pele, que podem levar à formação de gretas e irritação; também aumentam a eletricidade estática, que causa desconforto e pode

dificultar o uso de níveis de umidade relativa elevados, podendo resultar na condensação nas superfícies interiores.

A temperatura e a umidade relativa são dois parâmetros físicos importantes na caracterização do conforto térmico, intimamente relacionado com a QAI. A Norma ISO 7726 (1998) é a principal norma para obtenção de dados de conforto térmico em ambientes internos e tem como objetivo definir os requisitos mínimos que os instrumentos usados para a medição de grandezas físicas caracterizadoras de um ambiente devem possuir. Os tipos de sensores de temperatura descritos na norma devem ser: termômetro de expansão; termômetro elétrico (tipo termo resistor) e termomanômetro. Para medir a umidade relativa do ar, pode-se optar por higrômetro ou psicrômetro. Segundo as recomendações da referida norma, as posições de medições para as variáveis físicas de um ambiente devem ser: nível da cabeça (1,1 m sentado e 1,7 m em pé); nível do abdômen (0,6 m sentado e 1,1 m em pé) e nível do tornozelo (0,1 m sentado e 0,1 m em pé).

No Brasil, a Resolução nº 9 (ANVISA, 2003), através da Norma Técnica 003, regulamenta o método de amostragem de temperatura, umidade e velocidade do ar em ambientes interiores, voltado para avaliação da qualidade do ar interior. A norma determina a amostragem por meio da utilização de equipamentos de leitura direta por termo-higrômetro e termoanemômetro localizado na altura de 1,5 m do piso. Os sensores de temperatura devem ser de termorresistência e sensor de umidade do tipo capacitivo ou por condutividade elétrica. O sensor de velocidade do ar é do tipo fio aquecido ou fio térmico.

2.11.5 Amostragem de gases e vapores

Para realização da amostragem, deve ser selecionada uma amostra de ar localizada nas proximidades da entrada da tomada de ar externo, na altura de 1,50 metro (m) do solo. Para determinar o número de amostras a serem efetuadas, deve-se observar a área construída do edifício e selecionar, ao menos, uma amostra de ar interior por andar ou de cada área servida por um equipamento condicionador de ar.

Para a amostragem de substâncias gasosas no ar de ambientes internos, dispõe-se de diversas metodologias, dentre as quais podem-se destacar como as mais importantes: sistemas passivos de monitoramento; sistemas ativos de monitoramento; e sistemas automáticos de monitoramento.

A APA (PORTUGAL, 2009) recomenda que as medições devem, em geral, ser feitas próximo das fontes e que a eficácia pode variar de acordo com o método, se o instrumento for um amostrador, um analisador de medição em contínuo ou de leitura direta e se esta é realizada de forma contínua ou pontual.

No Brasil, não existe legislação que estabeleça normas de metodologias de amostragem e monitoramento para a QAI. Assim, com fins comparativos, são utilizados parâmetros internacionais, como da OMS (WHO, 2010); e ambientais, como os da U.S. Environmental Protection Agency (USEPA, 1990) e da Agência Portuguesa do Ambiente -APA (PORTUGAL, 2009).

2.11.5.1 Método de amostragem para dióxido de carbono

De acordo com a Resolução 09 (ANVISA, 2003), o processo usado para determinar a concentração de CO₂ deve ser através de analisadores por infravermelhos não dispersivos ou por célula eletroquímica de leitura direta e deverá ter periodicidade semestral.

Os analisadores por infravermelhos contêm duas células: uma onde circula a amostra de ar e outra de referência, com um detector e uma fonte de banda larga do espectro de radiação por infravermelhos, que respondem rapidamente para uma medição imediata do dióxido de carbono (PORTUGAL, 2009).

As vantagens desses monitores são a portabilidade, a rapidez de resposta, a simplicidade de funcionamento e a capacidade de medição contínua. As desvantagens são o tempo de vida limitado do detector, bem como os limites de detecção e sensibilidade.

A Norma Técnica 002, da Resolução 09 (ANVISA, 2003), recomenda que se deve definir o número de amostras de ar interior tomando por base a área construída climatizada dentro de uma mesma edificação e razão social, de acordo com a tabela contida na resolução. Além disso, a norma estabelece ainda que as medições sejam realizadas nos períodos em que o ambiente se encontre com maior utilização, a uma distância de 1,5 metro do chão.

2.11.5.2 Funcionamento de medidor de dióxido de carbono (CO₂) por sensor de infravermelho não dispersivo

Os gases compostos por dois ou mais átomos diferentes possuem a capacidade de absorção de radiação infravermelha (IV), dentro de certos comprimentos de onda (λ) (SCHAEFFER, 2004). O gás CO₂ possui essa característica, pois sua concentração pode ser quantificada por meio da emissão de um feixe de luz IV, com determinado λ , que atravessa uma distância conhecida (b) do meio em que o CO₂ está disperso.

Os dispositivos de medição habitualmente empregados são os de infravermelho não dispersivo NDIR (Non Dispersive Infra Red). Esses dispositivos realizam a comparação entre dois comprimentos de onda em um único feixe de luz IV, em que um comprimento sofrerá absorção e o outro não. A partir da razão entre os dois comprimentos de onda, é indicado o nível de absorção. Ao medir a diferença entre a intensidade de radiação IV que é transmitida com a recebida, chega-se ao valor de radiação IV absorvida.

Na Figura 8, temos o diagrama de um dispositivo sensor de feixe único, com dois comprimentos de onda (SBDW: Single Beam Dual Wavelength).

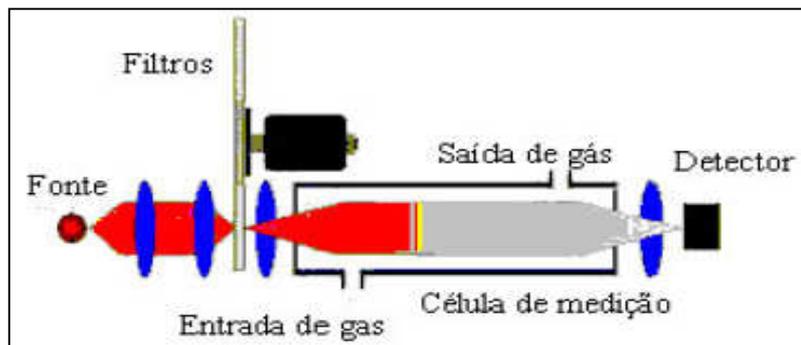


Figura 8 - Detalhe do dispositivo SBDW

Fonte: Schaeffer (2004)

As vantagens desses monitores são a portabilidade, a rapidez de resposta e a simplicidade de funcionamento diante de sua capacidade de medição e baixo custo.

2.11.5.3 Método de amostragem para concentração de formaldeído em ambiente interno

Os principais métodos utilizados de amostragem em ambientes interiores, em análises de presença de concentração de formaldeído, são os realizados através de monitores portáteis, de leitura direta, ou com utilização de tubos colorimétricos e por amostragem com tubos ativos ou passivos. A amostragem por método por sistema passivo de monitoramento é realizada utilizando-se material solvente, seguido de análise em laboratório. Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente - APA, os métodos de monitoramento podem ser categorizados por medição em tempo real, que medem o parâmetro continuamente, ou de medições integradas.

2.11.5.4 Funcionamento de medidor H₂CO

O monitor eletroquímico de H₂CO é um analisador ativo de leitura direta. O formaldeído reage eletroquimicamente no eletrodo específico para os aldeídos, gerando uma corrente elétrica proporcional à concentração. Uma pequena bomba interna do monitor força a passagem do ar continuamente. O nível mínimo detectável na gama de 0,01 a 5 ppm (PORTUGAL, 2009).

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCAL DE ESTUDO

Os locais escolhidos para realização do presente estudo foram quatro escolas públicas de ensino fundamental, localizadas em quatro regiões distintas do município de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso. A cidade de Cuiabá está localizada na região Centro-Oeste, possui clima tropical úmido, com altas temperaturas e índice pluviométrico em torno de 1350 mm. No verão, a precipitação ocorre em maior quantidade, com registro de 215 mm no início do ano (SONDA, 2016).

Segundo o IBGE (2015), no ano de 2015, o município de Cuiabá possuía 551.098 habitantes e 235 escolas de ensino fundamental, distribuídas em 138 bairros nas regiões leste, oeste, norte e sul.

A necessidade de atender a demanda por vagas no município de Cuiabá-MT e a indigência de algumas escolas de ensino fundamental, com a iminência de obras de reforma por serem construções antigas, originaram a necessidade de obras de construção civil nesse setor. As obras de construção, reformas e ampliações das unidades de ensino básico, ocorridas em Cuiabá, fazem parte do Programa de Modernização da Infraestrutura Municipal, que tem o objetivo de buscar a melhoria das edificações, de modo a corroborarem um ambiente que possa proporcionar a melhor aprendizagem no ambiente escolar.

Para realização deste estudo, como critérios de escolha, foram selecionadas escolas que receberam obras recentemente, estabelecidas em diferentes regiões do município de Cuiabá. Para manter o sigilo das escolas, não serão divulgados seus nomes, apenas uma breve descrição das características da construção e do contexto em que estão inseridas. Assim, serão descritas por numeração. As escolas foram selecionadas por região, sendo assim a escola escolhida na região leste, neste estudo, foi denominada escola 1; na região norte, denominada escola 2; na região oeste, denominada escola 3; e na região sul, denominada escola 4, conforme ilustra a Figura 9.

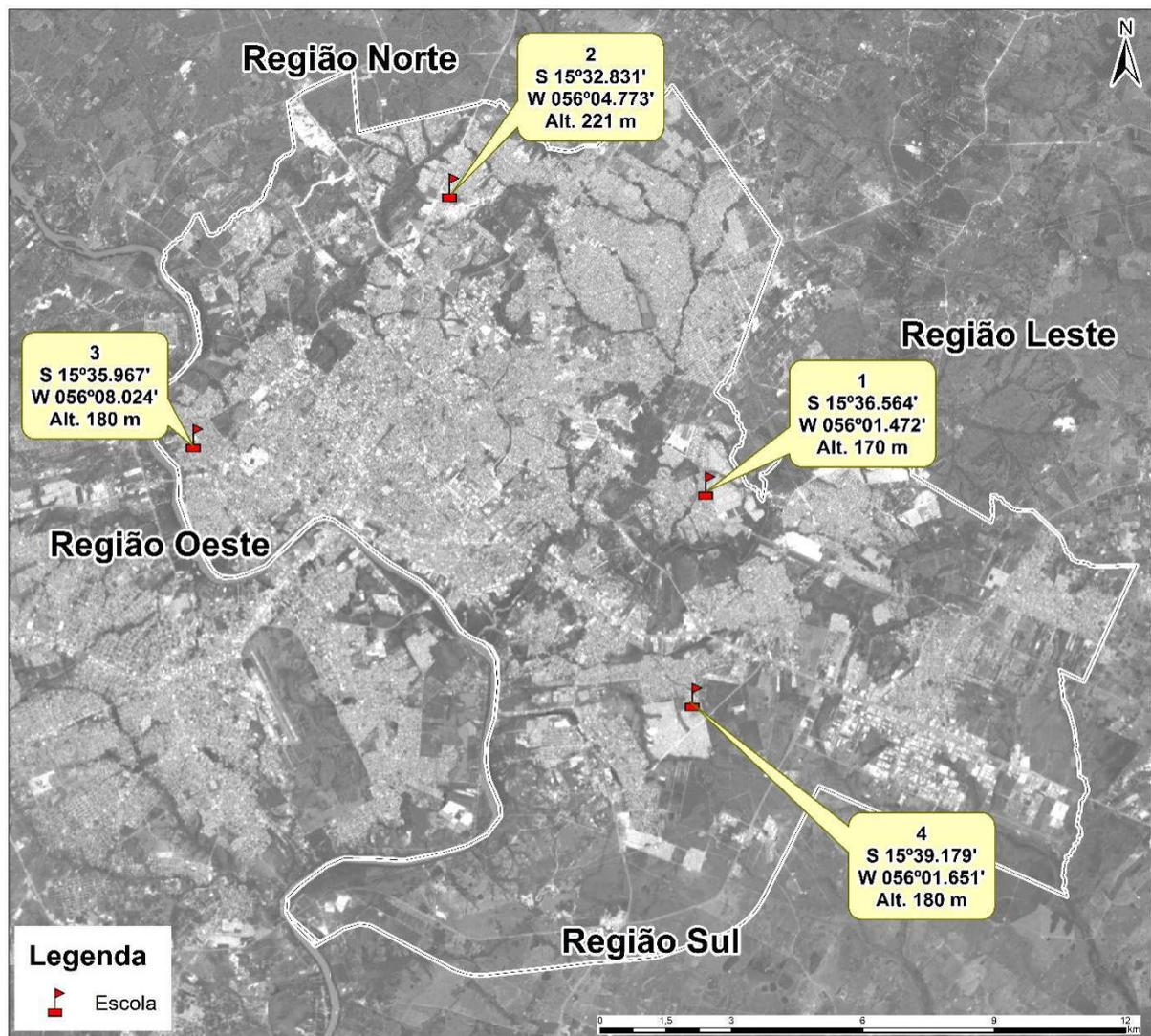


Figura 9 - Mapa de localização das escolas objeto de estudo no município de Cuiabá-MT.

Fonte: Google Earth, 2016

3.1.1 Localização das escolas e características do entorno

A escola denominada escola 01, neste estudo, localiza-se na região leste do município de Cuiabá-MT, na rua 1600, número 162-222, no bairro Jardim Imperial, sob as coordenadas geográficas 15°36'564'' de latitude e 056°01'472'' de longitude, com altitude de 170 m. O local é próximo à avenida das Palmeiras, onde ocorre intensa circulação de veículos. No entorno da escola 1, encontram-se condomínios residenciais, e a região é densamente vegetada. A cobertura do solo é composta de diferentes tipologias: área pavimentada; solo exposto; grama; área vegetada; e área construída.

A denominada escola 2 encontra-se estabelecida na região norte do município, na rua 09 - Quadra 48, no bairro Jardim Florianópolis, adjacente à rua 21, com intenso fluxo de veículos, sob as coordenadas 15°32'831'' S de latitude e 056°04'773'' de longitude, com altitude de 221 m. O bairro é residencial, e a região de entorno é composta por densa vegetação, próximo à rodovia Emanuel Pinheiro (MT-251), que liga Cuiabá à Chapada dos Guimarães.

A escola 03 está situada na região oeste do município, na rua Dep. Celso Mendes Quintela, S/N, no bairro Jardim Santa Isabel, sob as coordenadas 15°35'967'' S de latitude e 056°08'024'' W de longitude, com altitude de 180 m. A escola é adjacente à avenida Daliberto da Costa, por onde circulam intenso tráfego de veículos, em especial nos horários de pico. O bairro Jardim Santa Isabel é predominantemente residencial, com expressivo comércio e empresas no ramo de construção civil estabelecidas na região.

A escola 04 situa-se na avenida Bakairi, número 2929, no bairro residencial Itapajé, na região sul do município de Cuiabá-MT. Está localizada sob as coordenadas geográficas de referência 15° 39'179'' S de latitude e 56° 01' 651'' W de longitude, com altitude de 180 m. O residencial Itapajé é um bairro residencial, e a região do entorno da unidade educacional é composta por densa vegetação, localizando-se junto à avenida principal do bairro, que tem o maior fluxo de veículos do bairro. A cobertura do solo na região de entorno é composta de disparidades de tipologias: poucas áreas pavimentadas; solo exposto; grama; densa cobertura de área vegetada; e área construída.

As características do entorno e o uso e a ocupação do solo em cada uma das escolas são apresentadas nas Figuras 10 e 11.



Figura 10 - Mapa de características do entorno das escolas objeto de estudo
Fonte: Google Earth, 2016



Figura 11 - Mapa de uso e ocupação do solo das escolas objeto de estudo
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2016

3.1.2 Detalhamento das escolas

Na escola 01, a infraestrutura conta com seis salas de aula. O dimensionamento dos ambientes atende as diretrizes do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), segue critérios quanto a dimensões e áreas úteis mínimas em todos os blocos escolares, incluindo administrativo, serviços, pedagógico e demais espaços. A área total do terreno onde a unidade está instalada é de 4.000 m², com área construída de 1.448,36 m², e a área permeável nesta unidade é de 2.551,64 m², com taxa de 64%.

Na escola 02, a infraestrutura conta com doze salas de aula. Porém, destas apenas cinco são apropriadas para o presente estudo por atenderem exclusivamente crianças em séries iniciais. A área total do terreno da escola é de 2.456,25 m² e a área construída 1.665,70 m²; e a área permeável é de 303,40 m², com taxa permeável de 12%.

Na escola 03, a infraestrutura conta com onze salas de aula. Porém apenas sete são apropriadas para o presente estudo por atenderem exclusivamente crianças em séries iniciais. A área total do terreno onde a unidade está instalada é de 7.700,16 m², e a área construída no terreno é de 4.66,37 m²; e a área permeável é de 3.039,79 m², com taxa de 39%.

A infraestrutura da escola 04 conta com sete salas de aula, que atendem exclusivamente crianças em séries iniciais. A edificação escolar foi construída no ano de 1996 e pela primeira vez passa por um projeto de reforma e ampliação. O terreno da escola 4 tem como área total 3.457,59 m², cujo total de área construída é de 1.733 m², com 17,7% de área permeável.

Em todas as escolas, os projetos de construção/ampliação/reforma seguem critérios quanto a dimensões das áreas úteis mínimas de todos os blocos escolares, incluindo administrativo, serviços, pedagógico e demais espaços, no que tange a diretrizes para assegurar a estrutura básica de atendimento a pré-escola e séries iniciais do ensino fundamental, baseadas em normas técnicas e legislações específicas, como código de obras, NBR 9050/2004 e diretrizes de projetos desenvolvidos pelo FNDE, do Ministério da Educação, criado em 1987 com o intuito de proporcionar melhorias na área pedagógica e nos recursos físicos escolares.

3.1.3 Materiais construtivos das escolas

As escolas utilizadas no presente estudo possuem construção em alvenaria, que se caracteriza pela utilização de blocos, tijolos e pedras unidas por ligantes, como argamassa e

cimento. Todas as escolas possuem pintura acrílica tipo látex, tanto nos ambientes internos quanto nos externos. O piso de todos os ambientes é do tipo monolítico granilite, de composição de concreto cimentício polido e resina para diminuir a porosidade do concreto. Os ambientes das escolas receberam revestimento cerâmico nas paredes até a altura de 1,50 metro, conforme ilustra a Figura 12.

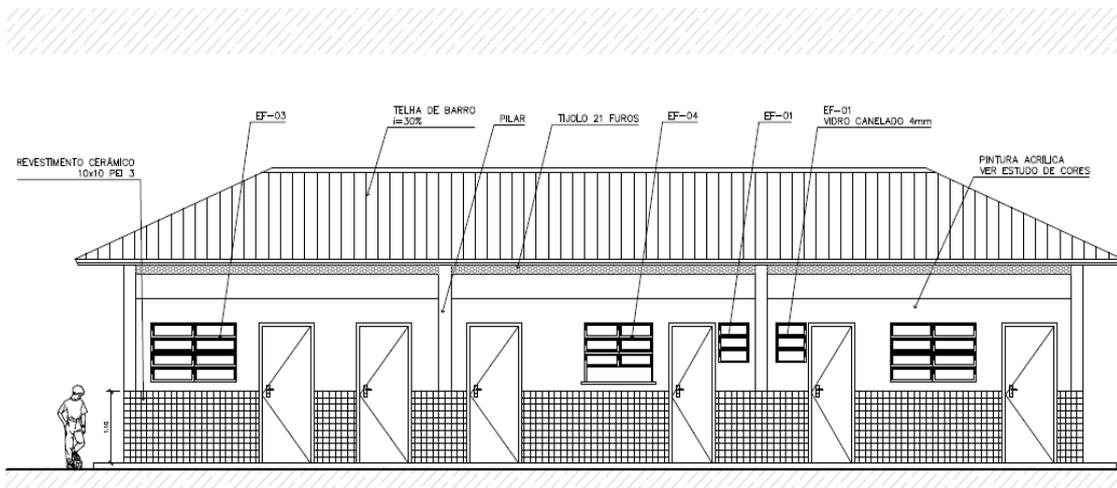


Figura 12 - Descrição de características construtivas das escolas objeto de estudo

Fonte: FNDE - Projeto Espaço Educativo Rural e Urbano 6 Salas de aula

Em relação à cobertura nas escolas, devido à temperatura elevada no município que causa constantes reclamações relacionadas à necessidade de uma arquitetura pensada para conforto térmico e rendimento escolar, foram utilizados telhamento termoacústico, com exceção da cobertura da escola 01, que é de telhamento cerâmico, conforme ilustrado na Figura 13. Os ambientes foram dimensionados com 3 metros de pé direito, e o forro de todos os ambientes das escolas é de PVC branco.

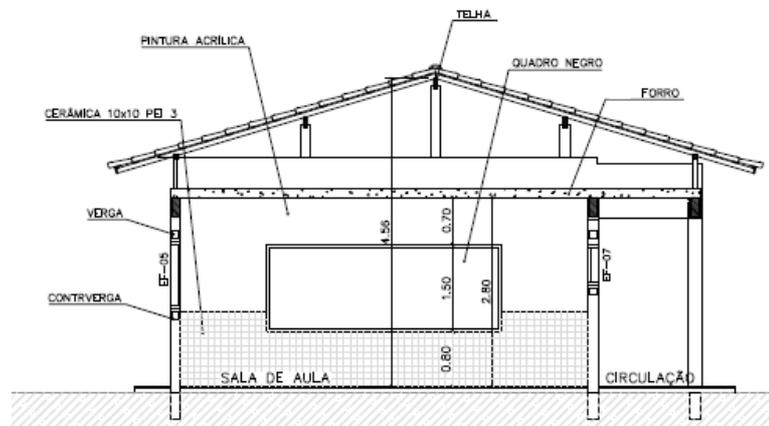


Figura 13 - Características construtivas dos ambientes das escolas objeto de estudo
 Fonte: FNDE - Projeto Espaço Educativo Rural e Urbano 6 Salas de aula

As portas dos ambientes são de aço galvanizado e com pintura de tinta à base de óleo. As janelas são de esquadrias metálicas com o mesmo tipo de pintura das portas e vidraria. Os materiais construtivos contidos nos ambientes das escolas são descritos no Quadro 11.

Materiais construtivos	
Tipologia	Descrição
Paredes	Alvenaria composta de colunas de concreto, tijolos e ligantes do tipo argamassa de cimento, revestido com massa de reboco e massa corrida, com revestimento cerâmico até 1,5 m do piso.
Cobertura	Telhamento termoacústico com polietileno e acabamento de tonalidade leitosa, com exceção da escola 1, que possui telhamento cerâmico.
Pintura	Acrílica tipo látex, lavável, à base de PVA.
Pisos	Tipo granilite, com resina acrílica e junta plásticas.
Forro	Tipo PVC, branco.
Portas	Metálica, com zarcão, para proteção e pintura de esmalte sintético.
Janelas	Esquadrias metálicas com zarcão para proteção e pintura de esmalte sintético e vidros.

Quadro 11 - Descrição dos materiais construtivos utilizados nos ambientes das escolas
 Fonte: Autora

3.1.4 Detalhamento dos ambientes das escolas objeto de estudo

As salas de aula possuem características muito semelhantes, com padronização de ambientes em 48 m², porém alguns detalhes diferem as salas de aula das escolas: os mobiliários.

Na escola 1, as salas de aula ficam ao fundo da edificação, possuem sistemas de ventilação cruzada, área vegetada adjacente, e as janelas são do modelo basculante. A escola 2 atende diferentes níveis de ensino, e as salas que atendem alunos de séries iniciais localizam-se na parte interna da escola, voltadas para o pátio, onde há algumas árvores que produzem sombreamento. Algumas salas de aula da escola 3 possuem ventilação cruzada; outras, não. As salas que possuem ventilação cruzada estão localizadas lateralmente à avenida Daliberto da Costa, que tem grande circulação de veículos leves e pesados. As salas de aula da escola 4 possuem ventilação cruzada, porém as janelas são voltadas para um muro alto, junto a uma avenida de grande movimento de veículos, e para corredores internos com pouca circulação de ar.

Os materiais contidos nos ambientes das salas de aula são basicamente cadeiras, carteiras, mesa de professor, cadeira de professor, quadro de atividades, armários de aço e materiais ilustrativos colados nas paredes. O material do mobiliário das carteiras e da mesa de professor é basicamente mesa com tampo em madeira aglomerada, revestido na face superior de laminado melamínico, em estrutura tubular de aço, e porta-livro em polipropileno. As cadeiras têm assento e encosto em polipropileno, em estrutura tubular de aço. O quadro de atividades nas escolas são tipo lousa, ou quadro-negro, compensado com revestimento em laminado melamínico nas escolas 1 e 2; e quadro branco magnético de vidro temperado nas escolas 3 e 4.

As bibliotecas das escolas possuem diferentes características em atendimento à necessidade de cada unidade educacional. A biblioteca da escola 1 possui 23,55 m² e se localiza ao fundo da edificação, sem muita influência de poluentes externos. Na escola 2, a biblioteca possui 58,8 m²; apesar de ter amplas janelas e conter sistema de ventilação cruzada, fica próxima à entrada da escola adjacente à avenida 21. A biblioteca da escola 3 possui 59,31 m², sem ventilação cruzada, estando localizada na parte superior da escola; nesta são desenvolvidos alguns projetos e, por mais que se trate de uma ambiente de estudos e leituras, permanece com janelas abertas durante o funcionamento, utilizando ventiladores mecânicos. Tal fato ocorre porque, nesta biblioteca, em especial o sistema de refrigeração não chegou a funcionar após a entrega das obras, durante a coleta de dados. Juntamente à biblioteca da escola 4 funciona a sala de informática; possui 47,11 m² e localiza-se na parte frontal da edificação, próxima a avenida, contando com sistema de ventilação cruzada.

Nas bibliotecas, os materiais contidos são livros, prateleiras, estantes de aço, baú de madeira com estofamento e revestimento plástico, computadores, mesas e cadeiras, além de diversos materiais ilustrativos colados nas paredes. O material do mobiliário das mesas é basicamente mesa com tampo em madeira aglomerada, revestido na face superior de laminado melamínico, em estrutura tubular de aço. As cadeiras têm assento e encosto em polipropileno, em estrutura tubular de aço; as prateleiras e estantes são de aço com pintura em esmalte sintético.

As salas de professores possuem diferentes dimensões: na escola 1, medem 23,55 m²; na escola 2, a área é de 24 m²; na escola 3, medem 48,9m²; e 27,96m² na escola 4. Nas escolas 1 e 2, as salas de professores estão instaladas ao lado das secretarias, próximas da entrada das respectivas escolas. Nas salas de professores, estão contidos sofás, mesa de reuniões, cadeiras, computadores, televisores, armários, cortinas e impressoras. As mesas de reunião são de madeira aglomerada revestida; as cadeiras são de estrutura em aço, com assento e encosto revestidos em tecido; os sofás têm estrutura em madeira e revestimento em couro sintético; os armários de aço com pintura sintética e quadro de avisos em metal, com feltro e cortiça.

As secretarias das escolas possuem diferentes dimensões, assim como as salas de professores, sendo 15,40 m² na escola 1; 18 m² na escola 2; na escola 3, a área do ambiente é de 27,66 m²; e 11,78 m² na escola 4. As secretarias escolares localizam-se próximas à entrada nas quatro escolas monitoradas. Nas secretarias, estão contidos mesas e cadeiras, computadores, armários e arquivos de aço. As mesas são de madeira aglomerada revestida, as cadeiras são de estrutura em aço com assento e encosto revestidos em tecido.

Os projetos das escolas da maior parte dos ambientes utilizadas no estudo, com exceção de duas salas de aula e da biblioteca na escola 03, foram concebidos utilizando sistemas de ventilação cruzada. Com isso, é favorecida a renovação do ar, o que contribui para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior.

Os ambientes são equipados com climatizadores de ar do tipo split, que trabalha com recirculação do ar interno. Os sistemas de climatização do tipo split, segundo Basto (2005), são divididos em duas partes interligadas por conexões, em que a primeira (evaporadora) condiciona o ar e é instalada no interior do ambiente, e a segunda (condensadora) é colocada no exterior do edifício. Significa que este sistema de climatização apenas condiciona (filtra e resfria) o ar que está num ambiente normalmente, com suas portas e janelas fechadas (LUCIANO, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, são descritos os procedimentos metodológicos empregados para chegar aos objetivos propostos, apresentando os equipamentos utilizados e os procedimentos para realização das coletas de dados para o monitoramento da qualidade do ar interior. São ainda apresentados os tratamentos estatísticos aplicados para análise dos dados obtidos.

A estrutura metodológica proposta consiste nas etapas: a) Preparação para realização das coletas; b) Levantamento de dados; c) Tratamento de dados; e d) Interpretação e análise dos dados. A Figura 14 ilustra a metodologia utilizada na pesquisa e, a seguir, o detalhamento das etapas.

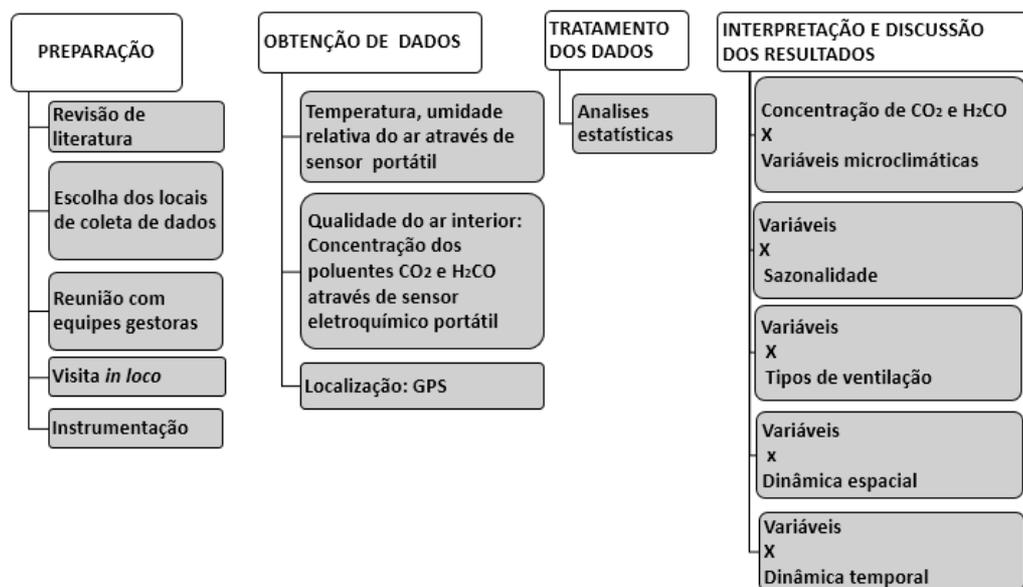


Figura 14 - Representação da metodologia utilizada na elaboração da dissertação

Fonte: Elaborado pela autora

4.1 MATERIAIS

A metodologia utilizada consistiu no registro da temperatura do ar, da umidade relativa, da concentração de CO₂ e da concentração de H₂CO nos ambientes internos de edificações escolares, por meio de sensores devidamente calibrados e instalados a 1,5 metro do chão, ou seja, à altura da narina humana, como recomenda a APA (PORTUGAL, 2009) e que foi utilizada por Breginski (2015).

Para verificar a existência de influência do vento nas concentrações de poluentes atmosféricos do ar inteiros, foi verificada a velocidade do vento. Na sequência, são descritos os equipamentos e métodos utilizados

4.1.1 Medidor de dióxido de carbono (CO₂)

A estratégia para determinar a concentração de dióxido de carbono foi baseada na metodologia sugerida pela Resolução ANVISA nº 09/03 (Norma Técnica 002). Para tanto, utiliza-se um analisador automático de CO₂, modelo AZ77535, da marca AKROM, devidamente calibrado, conforme o certificado nº 136329/14. Esse monitor não havia sido utilizado anteriormente e, por motivo de o certificado de calibração se encontrar com data superior a um ano, foi realizada a verificação do funcionamento a partir de outro instrumento de mesma marca e modelo, que se encontrava-se com certificado de calibração válido.

4.1.2 Medidor de Formaldeído (H₂CO)

A estratégia para determinar a concentração de formaldeído baseou-se na metodologia sugerida pelo guia técnico “Qualidade do Ar em Espaços Interiores” da Agência Portuguesa do Ambiente - APA (PORTUGAL, 2009), utilizado por Breginski (2015).

Nesta pesquisa de caráter exploratório, a referida autora utilizou os métodos de medição através do uso de tubos colorimétricos e de detector eletroquímico. A autora conclui que a utilização do detector eletroquímico de formaldeído mostrou-se bastante eficiente, por ser muito sensível, conseguindo medir valores muito baixos de concentração, e possuir um custo relativamente baixo, apresentando resultados imediatos diretamente no painel digital e sem necessidade de análise em laboratório.

Diante do exposto, a escolha do método de medição de H₂CO, para o presente estudo, foi através da utilização de medidor eletroquímico. Para tanto, utiliza-se um detector automático de H₂CO modelo - AR820, da marca SMART SENSOR, devidamente calibrado, conforme o certificado nº 144740/16.

4.1.3 Medidor de Temperatura, Umidade e Velocidade do Ar

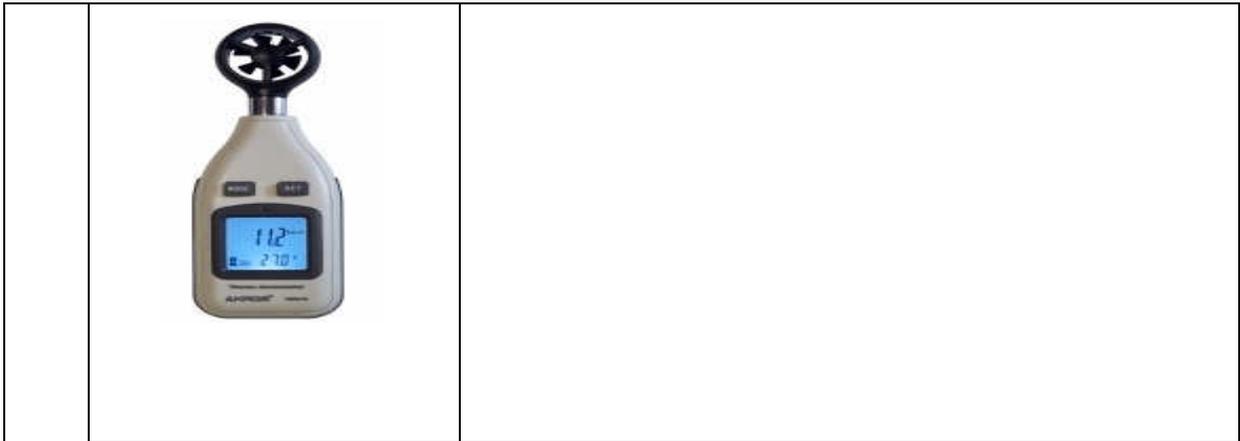
Para coleta de dados referentes a temperatura e umidade, utiliza-se como base a Norma Técnica 003 da RE 09/03, da ANVISA, que recomenda a utilização de equipamentos de leitura direta termo-higrômetro e anemômetros, com faixa de medição 0°C a 70°C de temperatura, 5% a 95% de umidade relativa e velocidade do ar de 0 a 10 m/s.

As medições de umidade relativa devem ser realizadas seguindo orientações da RE 09/03, da ANVISA, e para isso utilizou-se o termo-higrômetro interno contido no equipamento AZ77535, da AKROM, devidamente calibrado, com faixa de medição de temperatura de -10°C a 60°C e umidade relativa de 0% a 95%. A velocidade do ar externo realizou-se através do uso de anemômetro portátil de leitura direta, da marca INSTRUBRAS, modelo KR-815, com faixa de medição de 0 a 30 m/s, devidamente calibrado conforme certificado de calibração n° 23.702-2016. No Quadro 11, estão descritos os instrumentos de medição utilizados na campanha para coleta de dados.

	Ilustração	Características do equipamento
Instrumentos de medição utilizados na qualidade do ar interior	 <p>Fonte: Maralex, 2016</p>	<p>Detector de formaldeído Sensor - AR820</p> <p>Formaldeído faixa de medição: 0-5PPM Formaldeído resolução: 0,01ppm / Formaldeído precisão: ±5% Faixa de medição de temperatura: 0-40°C / 32-104°F Resolução de temperatura: 0,1°C / 0,1°F Precisão da temperatura: ± Umidade faixa de medição: 10-95% RH Resolução umidade: 0,1% RH / Exatidão umidade: ± 5% RH</p>
	 <p>Fonte: Akrom, 2016</p>	<p>Medidor CO₂ - AZ-77535</p> <p>Temperatura: -10°C a 60°C (14°F a 140°F) Umidade: 0% a 95% Temperatura de ponto de orvalho: -73,4°C a 60°C Temperatura de bulbo úmido: -13,3°C a 60°C Resolução: 2 ppm (concentração de CO₂), 0,1°C/°F (temperatura), 0.1%UR (umidade) Precisão: ±30ppm (±5%) da leitura (CO₂) (0 a 3000ppm) ±0.6° (±0.9°F), ±3% RH (25°C, 10 a 90%) ±5% para escala RH Tempo de aquecimento: 30 segundos Tempo de resposta: 30 segundos</p>

(Continua)

Quadro 12 - Características dos equipamentos de medição utilizados nas coletas de dados



(Conclusão)

Quadro 13 - Características dos equipamentos de medição utilizados nas coletas de dados

Fonte: Elaborado pela autora

4.2 MÉTODOS

Inicialmente, para a coleta de dados, fez-se necessária a escolha do método de amostragem confiável com viabilidade técnica e de custo. Para tal escolha, fez-se a busca na literatura para elaborar a estratégia de pesquisa.

4.2.1 Estratégia da pesquisa

Este trabalho teve início com a pesquisa bibliográfica, na busca de artigos científicos, livros e normas nacionais e internacionais, com o propósito de identificar os métodos existentes para detecção da contaminação do ar por H_2CO e CO_2 .

Para amostragens de dados, foram selecionadas quatro escolas que passaram por obras de construção civil recentemente. A escolha dos locais e dos ambientes internos para a realização da coleta de dados foi em virtude de características como localização, aspectos do entorno e da ocupação.

Após a escolha das escolas para realização do estudos, o passo inicial foi uma visita técnica *in loco*. Segundo Portugal (2009), é necessária uma visita prévia aos locais de estudo para obter uma visão inicial, apreciação do projeto do edifício, da planta e do sistema de ventilação; e, durante essa visita, devem-se obter as informações suficientes que permitam a avaliação e a formulação das hipóteses, de forma a estabelecer um plano para uma avaliação subsequente.

Para a realização da coleta de dados, a estratégia de amostragem foi elaborada de modo a avaliar as piores condições, após o ambiente ter permanecido fechado, como recomendação da APA (PORTUGAL, 2009).

Para coleta dos dados, os monitores foram utilizados, segundo a metodologia recomendada pela APA (PORTUGAL, 2009), baseados nos seguintes critérios:

- O monitoramento/amostragem conduzida em locais que representam as atividades ocupacionais
- Os locais de coleta localizados a, pelo menos, 0,5 m dos cantos e das janelas;
- Os locais distantes a, pelo menos, 0,5 m das paredes e de outras superfícies verticais;
- Os equipamentos não devem estar diretamente abaixo ou em frente dos difusores de abastecimento de ar, unidades de difusão, ventoinhas ou aquecedores, etc;
- As localizações dos equipamento a distância de, no mínimo, 1 metro das fontes;
- Os monitores nos locais interiores devem ser colocados a uma altura de 1,5 metro;
- As coletas de dados realizadas nos primeiros horários de funcionamento das escolas, em dias de segunda-feira, ou seja, no momento da abertura da escola, após serem mantidas fechadas durante o fim de semana.

No presente estudo, foram seguidas recomendações da Agência Portuguesa do Ambiente (PORTUGAL, 2009) e da ANVISA (BRASIL, 2003).

4.3 AMBIENTES SELECIONADOS

Os ambientes para realização da investigação da QAI foram selecionados após inspeção *in loco* e reuniões com equipes gestoras, considerando as queixas dos próprios usuários.

Para efeito da avaliação dos parâmetros de qualidade do ar interior, fixados no RSECE, num edifício (ou fração autônoma) objeto de análise deve-se dividir os espaços por “zonas” ocupadas, de acordo com a APA (PORTUGAL, 2009).

Para obtenção dos dados da QAI, a quantidade coletada de amostras foi embasada na Norma Técnica 002 (NT002), estabelecida na Resolução número 09, da ANVISA, para concentração de CO₂, descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Determinação do número de amostras em função da área construída do edifício

Área construída (m ²)	Número mínimo de amostras
Até 1.000	1
1.000 a 2.000	3
2.000 a 3.000	5
3.000 a 5.000	8
5.000 a 10.000	12
10.000 a 15.000	15
15.000 a 20.000	18
20.000 a 30.000	21
Acima de 30.000	25

Fonte: Brasil (2003)

Em cada escola, foram escolhidos sete ambientes, sendo selecionadas em cada uma: quatro salas de aula, biblioteca, secretaria e sala dos professores. Os ambientes selecionados são descritos na sequência: na escola 01, os ambientes estudados podem ser visualizados na Figura 15, com destaque em cinza. Os ambientes encontram-se numerados como 1 (sala de aula), 2 (biblioteca), 3 (sala de professores) e 4 (secretaria).

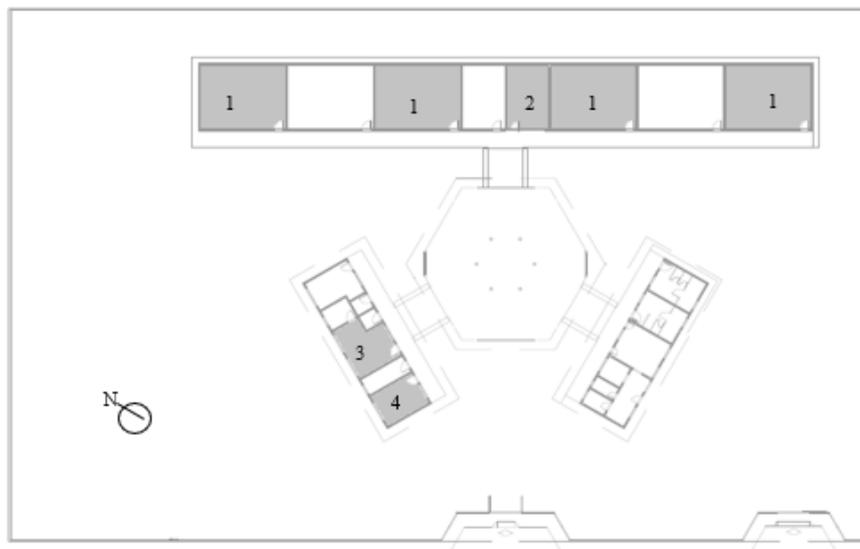


Figura 15 - Escola 01- Ambientes selecionados para coleta de dados
Fonte: Adaptado da planta original da escola.

A Figura 16 ilustra os ambientes utilizados no monitoramento da escola 02, novamente com destaque em cinza. Os ambiente estão numerados como 1 (sala de aula), 2 (biblioteca), 3 (sala de professores) e 4 (secretaria).



Figura 16 - Escola 02 - Ambientes selecionados para coleta de dados
 Fonte: Adaptado da planta original da escola.

Os ambientes selecionados na escola 3 para o estudo podem ser visualizados na Figura 17, com destaque em cinza; os ambientes são 1 (sala de aula), 2 (biblioteca), 3 (sala de professores) e 4 (secretaria).

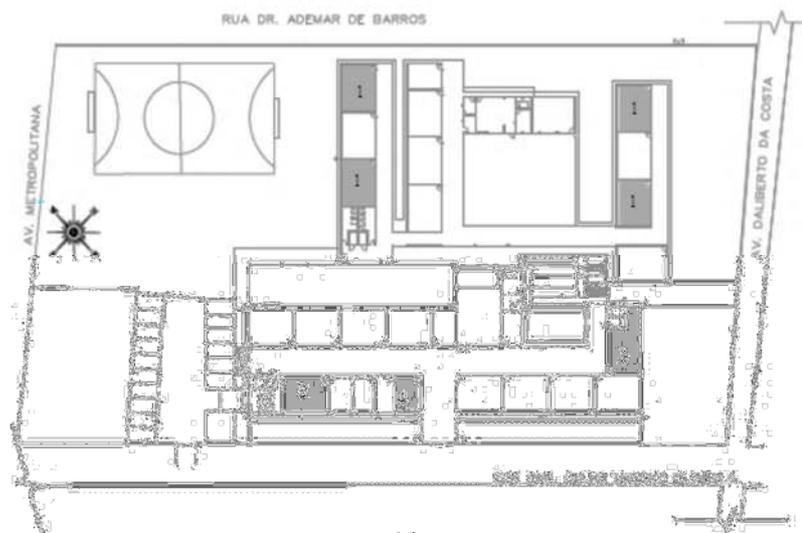


Figura 17 - Escola 03 - Ambientes selecionados para coleta de dados.
 Fonte: Adaptado da planta original da escola.

Os ambientes escolhidos para o monitoramento da escola 4 podem ser visualizados em destaque em cinza na Figura 18; novamente ambiente 1 (sala da aula), ambiente 2 (biblioteca), ambiente 3 (sala de professores) e ambiente 4 (secretaria).

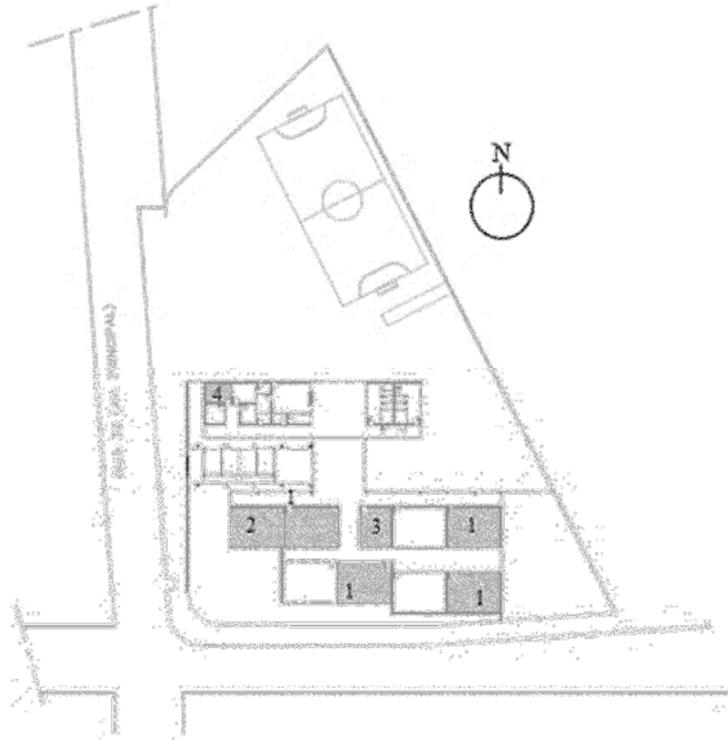


Figura 18 - Escola 04 - Ambientes selecionados para coleta de dados.
Fonte: Adaptado da planta original da escola.

4.4 PERÍODO DE COLETA DE DADOS

Após a seleção dos locais, convencionou-se que o período de coleta de dados sobre a qualidade do ar interior nas escolas deveria atender as características climáticas da região, com datas escolhidas referentes a período chuvoso e de estiagem, por seis campanhas bimestrais, durante os meses de novembro de 2016 e setembro de 2017, para analisar a dinâmica temporal dos gases. O início das campanhas foi definido com base no tempo de ocupação após obras de construção civil.

Para a definição das datas de coleta de dados, foi analisado o comportamento das chuvas em Cuiabá. Para isso, foram utilizados os dados da estação meteorológica 83361 localizada a -15° 61'97, 22'' S e -56°, 10'83,3, do Instituto Nacional de Meteorologia –INMET, representados no gráfico tipo histograma da Figura 19, adaptado da base de dados do instituto, com as precipitações mensais de janeiro de 2013 a outubro de 2016.

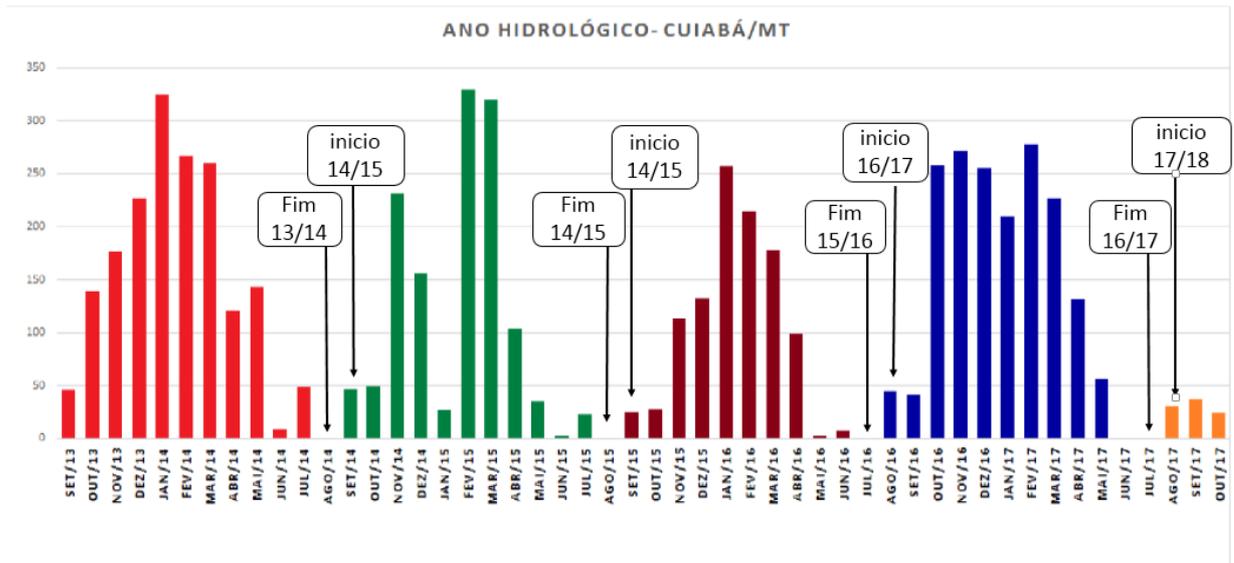


Figura 19 - Histograma dos Anos Hidrológicos 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017 para Cuiabá/MT.
Fonte: Adaptado de INMET, 2017.

Ao analisar o gráfico, verifica-se que o ano hidrológico 2013/2014, no município de Cuiabá, teve início no mês de setembro e fim em agosto. O comportamento se repetiu no ano hidrológico 2014/2015. No ano hidrológico 2015/2016, o comportamento observado foi irregular, pois teve início no mês de setembro e fim em julho, um mês antes dos dois anos hidrológicos anteriores. O ano hidrológico 2016/2017 começou no mês de agosto, ou seja, com um mês de antecedência.

Com o intuito de coletar dados atendendo aos critérios de estações chuvosas e de estiagem, as datas das campanhas foram definidas de acordo com o Quadro 12, que resume as campanhas de trabalho de campo.

Campanha/ Escola	Novembro	Janeiro	Março	Maio	Julho	Setembro
Escola 01	07/11/2016	09/01/2017	06/03/2017	08/05/2017	10/07/2017	04/09/2017
Escola 02	14/11/2016	16/01/2017	13/03/2017	15/05/2017	24/07/2017	11/09/2017
Escola 03	21/11/2016	23/01/2017	20/03/2017	22/05/2017	17/07/2017	18/09/2017
Escola 04	28/11/2016	30/01/2017	27/03/2017	20/05/2017	31/07/2017	25/09/2017

Quadro 14 - Programação de datas das campanhas para coleta de dados

Fonte: Elaborado pela autora

4.5 COLETA DE DADOS

Yin (2015) descreve que o protocolo deve conter os instrumentos, mas também os procedimentos e as regras gerais a serem seguidos na sua utilização. Para a realização da coleta de dados, de acordo com a metodologia proposta, fez-se necessário fazer a coleta de dados à altura de 1,5 metro do chão. Para isso, os instrumentos foram instalados em um suporte para que possam mensurar os dados simultaneamente. Antes das coletas de dados, aproximadamente 10 min, os instrumentos são ligados para se aclimatarem às condições locais, como pode ser verificado na Figura 20.



Figura 20 - Aclimação de instrumentos
Fonte: Acervo pessoal

Nesta pesquisa, as medições dos gases formaldeído e dióxido de carbono e dos dados microclimáticos de temperatura e umidade relativa do ar no interior dos ambientes foram efetuadas sempre nas primeiras horas da manhã, em dias de segunda-feira, por seis campanhas de caráter bimestral. As medições foram realizadas após os ambientes permanecerem fechados por todo o fim de semana, impossibilitando a entrada do ar exterior ou a influência de usuário, que pudessem causar interferência nos dados.

A coleta de dados foi realizada em cada ambiente, com três medições em cada um, com diferentes ventilações: primeiro com ambiente fechado; na sequência, com o uso de ar-

condicionado; e com o ambiente aberto, com ventilação natural. As Figuras 21 e 22 ilustram os equipamentos durante a medição com ambiente fechado.

A princípio, nas primeiras coletas, um anemômetro estava instalado junto aos outros instrumentos, porém nos ambientes internos, a velocidade do ar é inferior à capacidade de detecção do equipamento; por isso, a velocidade do ar foi desconsiderada para ambientes internos.

Na sequência, as Figuras 23, 24, 25 e 26 mostram os equipamentos posicionados em alguns ambientes fechados, respectivamente: uma biblioteca, uma sala de professores, uma sala de aula e uma secretaria.



Figura 21 - Medição com ambiente fechado em sala de aula da escola 4
Fonte: Acervo pessoal



Figura 22 - Medição com ambiente fechado em sala de aula da escola 2
Fonte: Acervo pessoal



Figura 23 - Medição com ambiente fechado em biblioteca
Fonte: Acervo pessoal

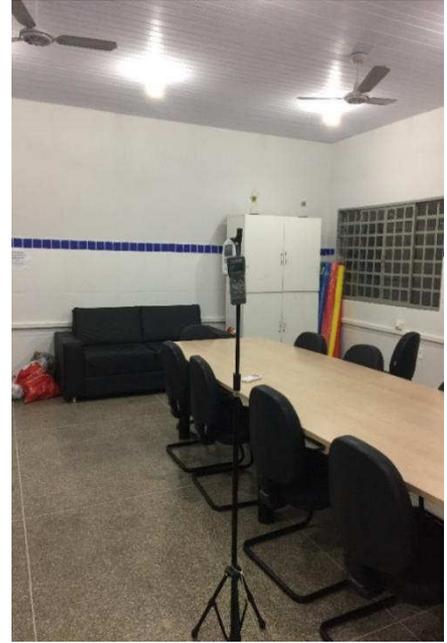


Figura 24 - Medição com ambiente fechado em sala de professores
Fonte: Acervo pessoal

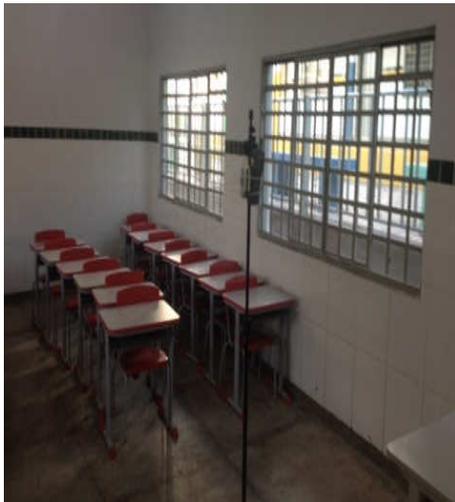


Figura 25 - Equipamento instalado em sala de aula fechada
Fonte: Acervo pessoal

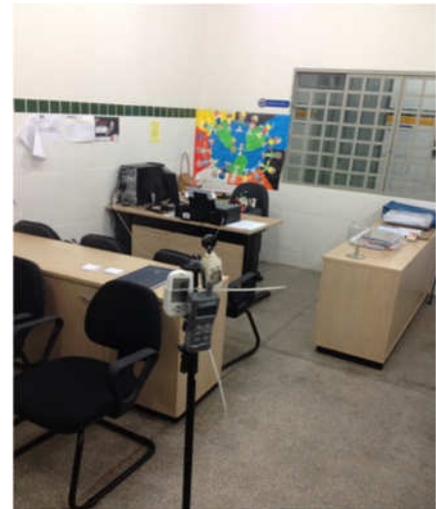


Figura 26 - Equipamento instalado em secretaria escolar
Fonte: Acervo pessoal

As Figuras 27 e 28; e, na sequência, na Figura 29, são demonstradas medições com ambientes climatizados artificialmente e com as portas e janelas totalmente abertas.

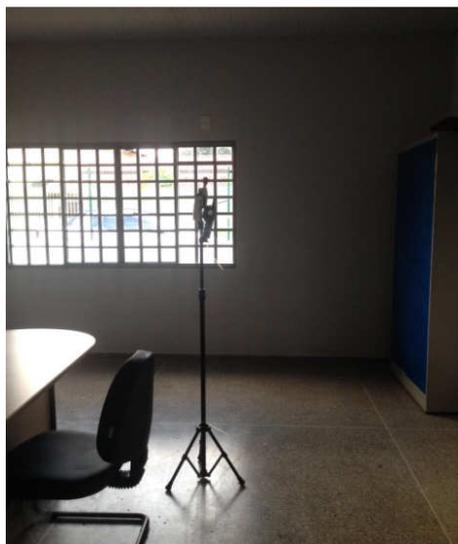


Figura 27 - Instrumentos no ambiente fechado
Fonte: Acervo pessoal



Figura 28 - Instrumentos no ambiente aberto
Fonte: Acervo pessoal



Figura 29 - Medição de dados com ambientes fechados e abertos
Fonte: Acervo pessoal

Por se tratar de escolas cujo público são crianças em estágio de desenvolvimento, portanto com estatura diferente de adultos, verificou-se a necessidade de coletar dados com os equipamentos em diferentes alturas. Assim, a partir da segunda campanha, a medida das variáveis em estudo foi realizada com o equipamento em duas alturas diferentes .

As medições foram realizadas em sequência, em cada ambiente, com os diferentes tipos de ventilação: primeiro a 1,5 metro de altura do chão (altura da narina humana) e, posteriormente, a 0,90 metro (altura da narina humana de criança com 9 anos). A altura adotada para crianças teve como base as tabelas de cartilhas utilizadas por pediatras, que indicam a altura média ideal para crianças de acordo com a idade.

4.6 RASTREABILIDADE

Após a coleta dos dados, é fundamental o registro passível de rastreabilidade, sendo eficaz para identificar possíveis fontes e fatores de influência para determinado problema.

A NBR ISO 9000: 2005 (ABNT, 2005), da Associação Brasileira de Normas Técnicas, define rastreabilidade como a capacidade de recuperar o histórico, a aplicação ou a localização daquilo que está sendo considerado. Assim, a partir dos dados obtidos na realização desta pesquisa, criou-se um banco de dados com o registro de cada medição, contendo o local, a identificação, os equipamentos utilizados, a descrição do ambiente, as interferências internas e externas, a data, o horário e as condições climáticas. O exemplo do banco de dados encontra-se no Apêndice.

4.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Após as coletas de dados da QAI nas escolas, estes foram compilados em planilhas, em função do local de medição, da campanha, do ambiente e das diferentes ventilações (ambiente fechado, climatizado artificialmente ou com ventilação natural).

Para análise do comportamento dos dados coletados e verificação da influência entre as variáveis em estudo, foram utilizadas a estatística descritiva, a análise de variância e a correlação. A análise dos dados foi realizada por meio do programa Minitab.

4.7.1 Estatística descritiva aplicada aos dados

Com a finalidade de verificar o comportamento das variáveis temperatura, umidade relativa do ar, concentração de CO₂ e de H₂CO obtidos nas coletas, bem como a ocorrência de comportamentos divergentes, foram realizadas análises estatísticas descritivas (média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, mínimo, mediana e máximo).

4.7.2 Boxplot (gráfico de Caixa)

O gráfico do tipo diagrama boxplot (caixa) auxilia a visualização de uma distribuição dos dados quanto à assimetria. Esse tipo de gráfico é indicado quando ocorre grande oscilação entre os dados a serem tratados. Apresenta o intervalo dos 50% valores centrais de um rol de dados, a mediana, a amplitude e os valores anômalos (*outliers*), fornecendo informações sobre a dispersão das medidas.

Um boxplot é representado por um retângulo vertical com dois segmentos de reta, um em cada um dos seus lados; sua altura é definida pelo valor do primeiro quartil (Q1), que representa 25% de todos os dados, organizados em ordem crescente. O valor na posição que representa 75% de todos os dados é o terceiro quartil (Q3). O valor compreendido entre Q1-Q3 representa 50% de todos os dados.

Os dados situados entre o terceiro (Q3) e a cauda superior (limite superior - LS), determinam o conjunto de valores máximos dos dados. Já os dados que estão entre Q1 e a cauda inferior (limite inferior - LI) representam os valores mínimos do conjunto de dados. Os pontos situados acima do limite superior ou abaixo do limite inferior são considerados pontos extremos ou *outliers* (MORETTIN; BUSSAB, 2002 apud COMIN, 2012). As caudas que aparecem no boxplot são calculadas pelas seguintes equações:

$$LS = Q3 + (1,5) * (Q3 - Q1) \dots\dots\dots(1)$$

$$LI = Q1 - (1,5) * (Q3 - Q1) \dots\dots\dots(2)$$

As posições relativas a Q1, Q2 e Q3 ilustram distribuição e assimetria dos dados. Assim, a posição central é dada pela mediana e a dispersão por Q3-Q1. Essa subtração é conhecida como amplitude interquartílica (AIQ): quanto mais central estiver Q2, mais simétrico será o

conjunto de dados analisados. O esquema presente na Figura 30 facilita a compreensão do gráfico tipo boxplot.

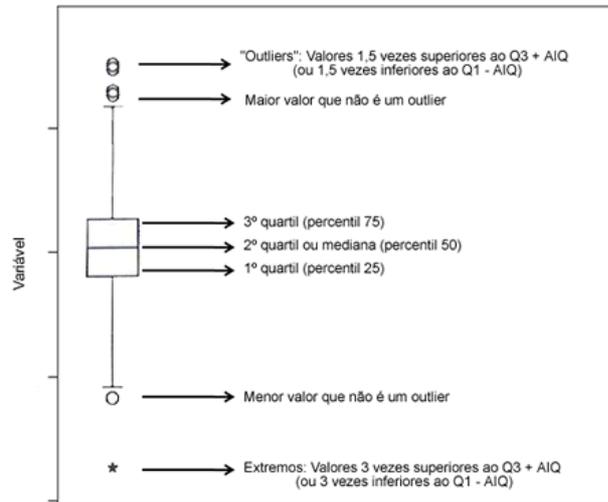


Figura 30 - Esquema explicativo de um gráfico boxplot
Fonte: MAROCO, 2003 apud COMIN, 2012.

4.7.3 Análise de Variância e teste Tukey

A análise de variância (ANOVA) utilizada visa fundamentalmente verificar a existência de diferença significativa entre as médias de temperatura, umidade relativa do ar, CO₂ e H₂CO, com variáveis como sazonalidade, tipo de ventilação e local.

O teste Tukey permite identificar quais médias dos tratamentos diferem entre si, para os casos de heterogeneidade e homogeneidade de variâncias. As suas comparações pareadas foram realizadas considerando o nível de significância (α) de 5%.

4.7.4 O coeficiente de Correlação Linear de Pearson

A fim de realizar análise bivariada, utilizaram-se testes estatísticos de Coeficiente de Correlação de Pearson. A suposição para o uso desse coeficiente é que a existência de relacionamento entre as duas variáveis seja linear, ou seja, é adequado para medir relação linear. A relação existe quando a alteração no valor de uma variável independente provoca alterações no valor da outra variável dependente.

O coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r) é uma medida que varia de -1 a $+1$, que mede o grau de relacionamento linear entre valores emparelhados em uma amostra e a

intensidade e a direção da relação linear entre duas variáveis quantitativas. Se r for positivo, existe uma relação direta entre as variáveis. Se r for negativo, existe uma relação inversa entre as variáveis. Se r for nulo ou aproximadamente nulo, significa que não existe correlação linear. As hipóteses do teste do Coeficiente de Correlação de Pearson são:

- a. Hipótese Nula (H_0): $\rho = 0$ (não existe correlação entre as variáveis)
- b. Hipótese Alternativa (H_1): $\rho \neq 0$ (existe correlação significativa)

Para esse teste, é considerado um nível de significância menor que 0,05 ($p < 0,05$) para a correlação estatisticamente significativa. De um modo simplificado, se o p-valor é menor ou igual ao nível de significância prpredeterminado, considera-se que haja correlação significativa entre as variáveis; caso contrário, não haverá associação entre elas (COMIN, 2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No total, foram coletadas 480 amostras de H_2CO e CO_2 , juntamente com os parâmetros físicos de temperatura e umidade relativa do ar. Os dados aqui apresentados são referentes à medição nas escolas: escola da região sul, neste estudo, denominada escola 1; escola da região norte, neste estudo, denominada escola 2; escola da região oeste, neste estudo, denominada escola 3; e escola da região sul, neste estudo, denominada escola 4.

Nas primeiras campanhas, por se tratar de escolas que estiveram em obras de construção civil recentemente, alguns ambientes das escolas da região oeste e da região sul não continham ainda o sistema de climatização instalados. Os condicionadores de ar foram instalados nesses ambientes durante o estudo, e, por esse motivo, para esses locais, os dados encontram-se em menor quantidade em relação aos demais ambientes.

Para a análise dos resultados de forma mais organizada, partindo do pressuposto de igualdade entre as escolas, por suas semelhanças e características, optou-se por apresentar em cada variável a análise inicialmente do conjunto de dados, representando os resultados encontrados por amostragem no município. Para verificar se existe diferença espacial dos gases em estudo, são apresentados os resultados por escola e, na sequência, para verificar a dinâmica temporal, os dados são apresentados por campanha de coleta de dados.

Os resultados de cada parâmetro avaliado dos ambientes internos, das quatro escolas avaliadas, durante as campanhas de coleta de dados serão apresentados a seguir.

5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A temperatura nos ambientes internos durante a coleta de dados, nas escolas de ensino fundamental do município de Cuiabá, variaram entre a máxima de $29,90^\circ\text{C}$ e a mínima de $20,70^\circ\text{C}$, com amplitude de $9,2^\circ\text{C}$.

A umidade relativa alcançou o índice máximo de 99,5%, e a mínima umidade relativa do ar registrada foi de 29,50%. A concentração máxima de CO_2 medida foi 1180 ppm e a mínima foi 475 ppm, resultando em uma amplitude de 705 ppm.

Para os dados de H_2CO coletados, a mais elevada concentração registrada foi de 1,020 ppm e a menor, de 0,01 ppm. A Tabela 3 apresenta a síntese das principais estatísticas

descritivas para os dados coletados nas escolas de Cuiabá durante o monitoramento da qualidade do ar interior.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas das variáveis temperatura, umidade, CO₂, H₂CO

Variável	N	Média	Variância	DP	CV	Mínimo	Mediana	Máximo
Temperatura (°C)	480	25,38	3,711	1,925	7,58	20,70	25,90	29,90
UR (%)	480	71,82	239,054	15,46	21,53	29,50	74,90	99,500
CO₂ (ppm)	480	570,1	6457,32	80,36	14,15	475,00	556,50	1180,00
H₂CO (ppm)	480	0,037	0,004138	0,064	172,8	0,01000	0,02000	1,0200

Fonte: Elaborado pela autora

5.2 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

Os parâmetros temperatura e umidade se inserem nesta análise visando verificar a existência de influência, significativa ou não, nas concentrações de CO₂ e H₂CO nos ambientes de escolas de ensino fundamental objeto de estudo. Diversos autores descrevem a proeminência do desempenhado pelos parâmetros micrometeorológicos de temperatura e umidade relativa do ar (GODWIN; e BATTERMAN, 2007; FRAGA et al., 2008; YANG et al., 2009; e de GIULI et al., 2012).

Os parâmetros físicos de temperatura e umidade relativa do ar devem estar de acordo com os limites recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA. Tais limites são para ambientes climatizados artificialmente, portanto, são adotados para todos os ambientes do estudo.

A RE 09/2003, da ANVISA, recomenda a temperatura em ambiente interno, no verão, compreendida entre 23°C e 26°C; e, no inverno, entre 20°C e 22°C. O valor recomendado para umidade relativa do ar deverá operar entre 40% e 65% no verão; e 35% a 65% no inverno, sendo que o valor máximo de operação não deve ultrapassar 65% durante todo o ano.

A Figura 31 ilustra o comportamento dos dados da temperatura; e a Figura 32, o comportamento do índice de umidade relativa do ar nos ambientes internos monitorados em escolas do município de Cuiabá-MT.

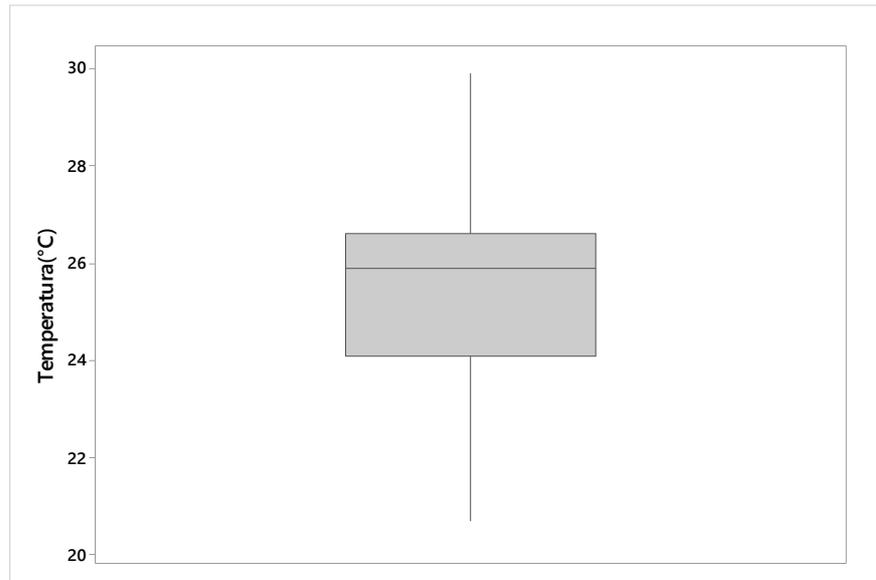


Figura 31 - Boxplot da temperatura do ar (°C)
Fonte: Elaborado pela autora

Na Figura 31, observa-se uma distribuição aproximadamente assimétrica à direita sem valores atípicos. As temperaturas dos ambientes internos mantiveram suas medianas dentro do limite máximo previsto para o verão.

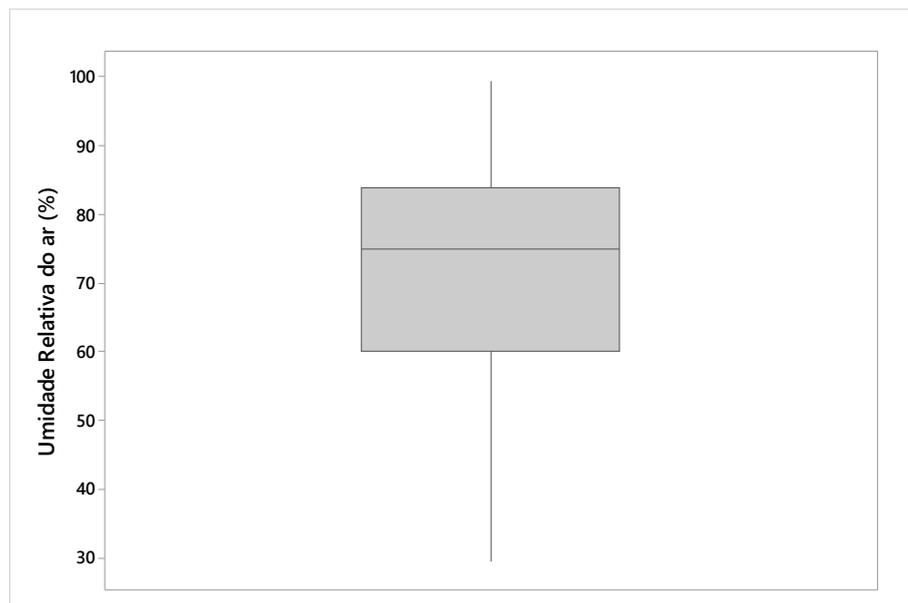


Figura 32 - Boxplot da umidade relativa do ar (%)
Fonte: Elaborado pela autora

O gráfico da Figura 32 evidencia uma distribuição aproximadamente assimétrica à esquerda sem valores atípicos. Porém a umidade relativa do ar, nas condições internas,

ultrapassou a faixa recomendável de operação da RE 09/2003, da ANVISA, com a mediana de 74,90%. A umidade relativa do ar pode exercer influência na concentração dos poluentes em estudo e no conforto. Os padrões de variação da umidade relativa do ar mostraram-se bastante elevados, porém esperados, na medida em que se pode verificar a dependência da temperatura e da umidade relativa do ar variando esses dois parâmetros durante o período de coleta de dados.

5.2.1 Correlação entre temperatura e umidade relativa

Para analisar entre a correlação dos valores de umidade relativa do ar e temperatura, calcularam-se os coeficientes, e os resultados entre as variáveis foi de correlação baixa ($r=0,112$), no entanto, com significância estatística ($p=0,014$), tratando-se de uma relação crescente, conforme Figura 33.

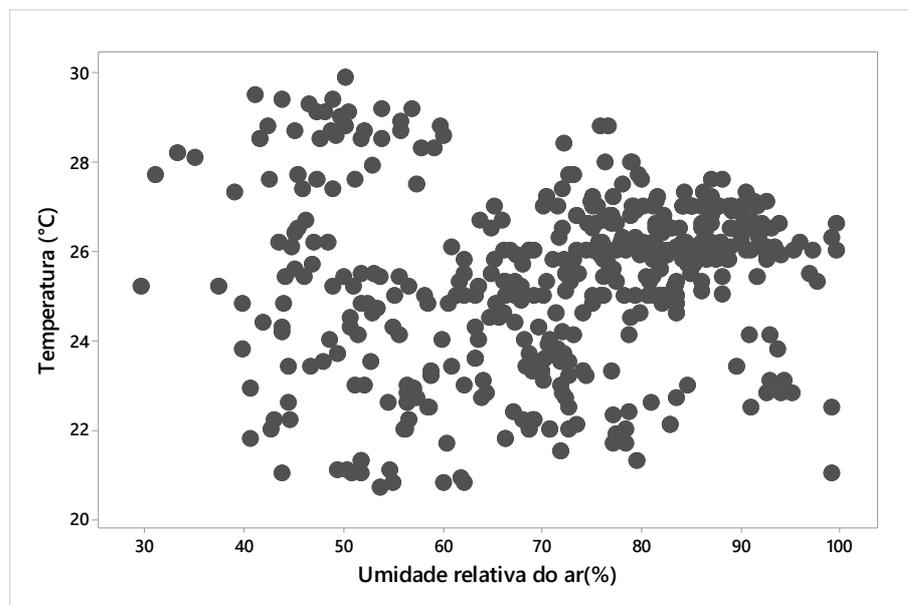


Figura 33 - Gráfico de dispersão de temperatura do ar (°C) *versus* umidade relativa do ar (%)
Fonte: Elaborado pela autora

Os dados foram coletados nas estações de chuva e seca, assim é possível constatar, na Figura 33, a formação um grupo de distintos valores de temperatura em função da umidade relativa do ar, demonstrando um comportamento diferenciado das duas variáveis nos diferentes períodos. Os mais elevados valores de temperaturas, assim como a maior variação, foram obtidos com os menores índices de umidade relativa do ar.

5.2.2 Temperatura e umidade relativa do ar nas estações sazonais de chuva e seca

As variações entre as médias dos parâmetros avaliados podem ter relação com variações nos índices de precipitação, pois, de acordo com Brasil (1982), o clima, na cidade de Cuiabá, é sazonal, com duas estações características bem marcadas, uma seca e outra chuvosa, com maiores precipitações no trimestre de dezembro a fevereiro, e tempo muito seco entre maio e setembro, quando as chuvas se tornam mesmo ausentes. O gráfico da Figura 34 facilita a visualização das diferentes temperaturas encontradas em escolas de ensino fundamental nas diferentes sazonalidades.

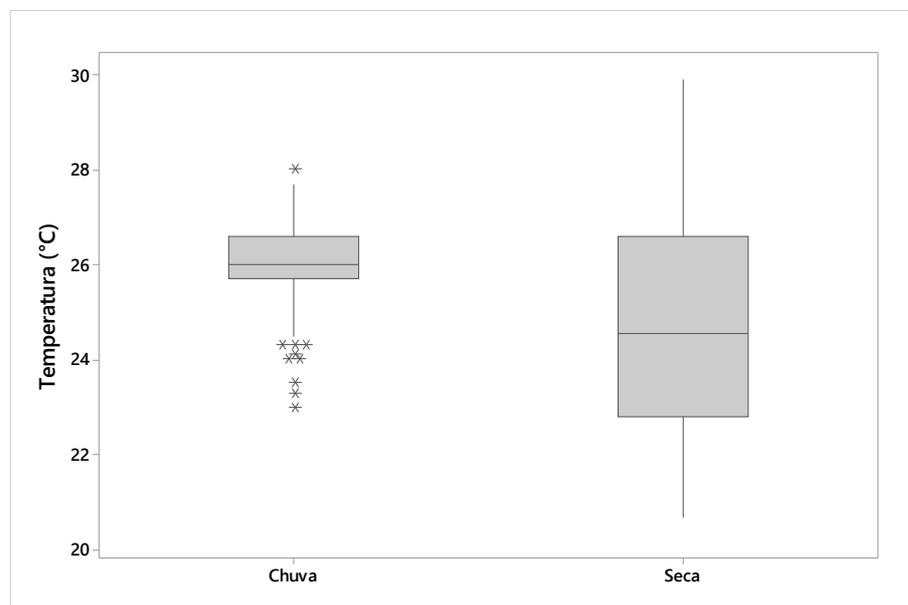


Figura 34 - Boxplot da temperatura do ar (°C) em diferentes estações sazonais
Fonte: Elaborado pela autora

Na Figura 34, a mediana da temperatura do ar nos ambientes, durante a estação de chuva, permaneceu dentro dos limites recomendados para o verão pela RE 09/2003, da ANVISA. A distribuição de dados de temperatura do ar, para essa estação, apresenta aproximada assimetria à esquerda, com um valor atípico no limite superior do boxplot e diversos no limite inferior. A distribuição dos dados é aproximadamente assimétrica à esquerda na estação de seca, sem apresentar valor atípico. A mediana não se encontra dentro dos limites recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA, para o inverno.

As precipitações pluviométricas durante a estação chuvosa amenizam a temperatura e aumentam a umidade relativa do ar. Pode-se verificar a dependência da temperatura e da umidade relativa do ar avaliando esses dois parâmetros durante o período chuvoso. A

distribuição de dados de umidade relativa do ar, no período chuvoso e de estiagem, é demonstrada na Figura 35.

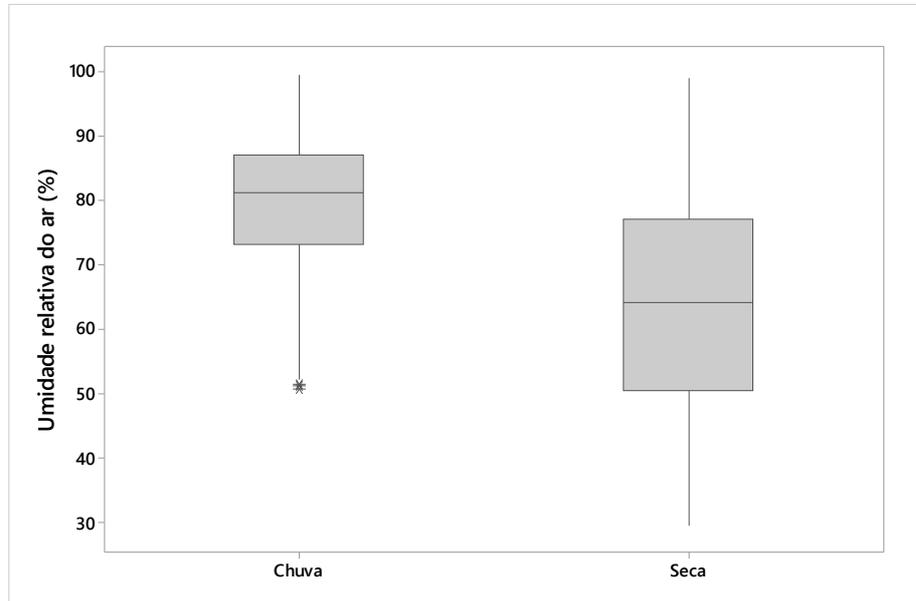


Figura 35 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) em diferentes estações sazonais

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se, na Figura 35, que a mediana, para estação de chuva, ultrapassou os limites recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA. A distribuição de dados para estação de chuvas é levemente assimétrica à direita, com um ponto atípico no limite inferior do boxplot. Na estação de seca, a distribuição dos dados apresenta simetria, sem valores atípicos, e a mediana insere-se dentro dos limites recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA.

As variações de temperatura e umidade relativa do ar obtidas durante as coletas de dados apresentaram comportamento atípico, com elevada umidade relativa do ar observada na estação de seca, e houve ampla variação de dados medidos durante a estiagem. A Tabela 4 demonstra a diferença entre as médias por análise de variância, de temperatura e de umidade relativa do ar para as diferentes estações sazonais.

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR), entre as estações do ano (chuva e seca)

Estação	N	Temperatura (°C)			UR (%)		
		Média	DesvPad	Tukey	Média	DesvPad	Tukey
Chuva	232	26,020	0,8078	A	79,50	9,95	A
Seca	248	24,786	2,416	B	64,69	16,28	B

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de temperatura e umidade relativa do ar. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

A análise de variância indica diferenças significativas entre as médias de temperatura do ar nas diferentes estações de chuva e seca para o presente monitoramento. O valor de desvio padrão revela haver maior variação entre as temperaturas no período de estiagem em relação ao período de chuvas. No presente monitoramento, a análise de variância para a umidade relativa do ar também apresenta diferenças significativas entre as médias da estação chuvosa e as de estiagem. A maior variação entre os índices de umidade relativa do ar ocorreu no período de estiagem e pode ser observada através de valor de desvio padrão mais elevado em relação ao período de chuvas.

A maior temperatura do ar, na estação chuvosa nos ambientes internos, foi 28,0°C; e a menor, 23,0°C. A temperatura média foi 26,02°C; e a amplitude dos dados, 5°C. Na estação de seca, a maior temperatura do ar foi 29,9°C, e a temperatura mínima foi 20,7°C, com a média de 24,78°C e amplitude de 9,2°C.

O mais elevado índice de umidade relativa do ar na estação de chuvas foi 99,5%; e o mais baixo, 50,6%. O índice médio foi 79,40%, e a amplitude dos dados foi de 48,9%. O máximo índice de umidade relativa do ar na estação de seca foi 99,00%; e o menor, de 29,50%. O índice médio foi 64,69% e a amplitude dos dados foi de 69,5%.

A explicação para os resultados encontrados pode ser o comportamento hidrológico, que iniciou a estação de chuvas no ano de 2016 com um mês de antecedência, em relação a anos anteriores. Além disso, no ano de 2017, ocorreram dias chuvosos no período de estiagem, quando normalmente ocorreria a ausência de precipitações. A temperatura também apresentou comportamento distinto do esperado para Cuiabá-MT, apresentando-se amena em estação de estiagem, o que não ocorria em anos anteriores.

5.2.3 Temperatura e umidade relativa do ar e os diferentes tipos de ventilação

Outro importante fator que pode influenciar a temperatura e a umidade relativa do ar de ambientes internos é o tipo de ventilação em um ambiente. As variáveis foram monitoradas em cada ambiente, durante as campanhas, com diferentes tipos de ventilação. O gráfico da Figura 36 mostra as diferenças de resultados para temperatura obtidos, com os diferentes tipos de ventilação, sendo o ambiente fechado (V1), com ar-condicionado ligado (V2) e com o ambiente aberto com ventilação natural (V3).

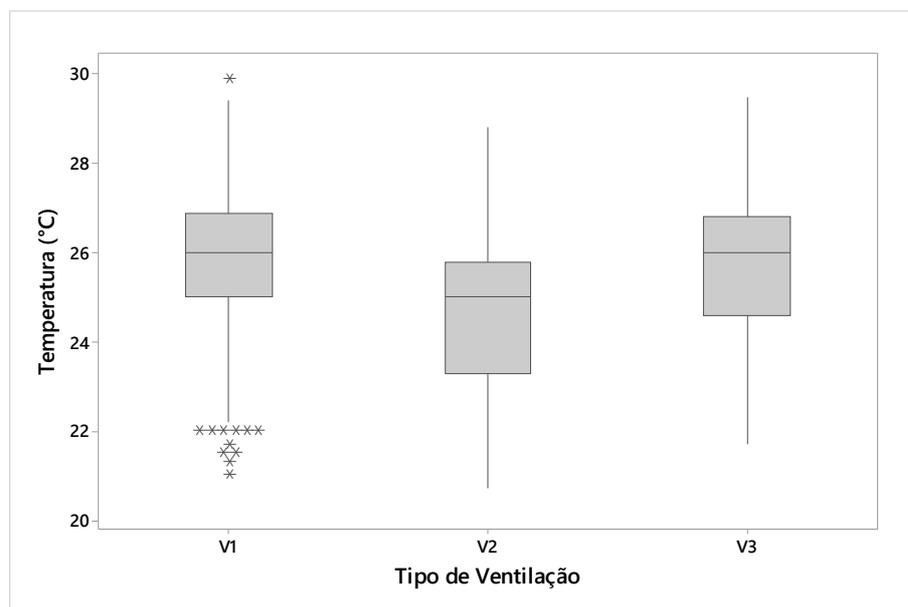


Figura 36 - Boxplot da temperatura do ar (°C) com diferentes tipos de ventilação

Fonte: Elaborado pela autora

Na Figura 36, as temperaturas registradas com os ambientes fechados apresentaram distribuição simétrica, com um ponto atípico no limite superior do boxplot e diversos no limite inferior. A distribuição dos dados apresenta-se aproximadamente simétrica à esquerda no ambiente aberto, utilizando ventilação natural. Como esperado, as temperaturas durante a utilização de ar-condicionado apresentaram valores inferiores em relação à ventilação natural, com distribuição dos dados aproximadamente assimétrica à esquerda, sem valores anormais. A mediana se apresentou dentro dos limites recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA (BRASIL, 2003).

O gráfico da Figura 37 apresenta a variação de umidade relativa do ar, como as diferentes ventilações: ambiente fechado (V1), com ar-condicionado ligado (V2) e com o

ambiente aberto com ventilação natural (V3). A distribuição dos dados para os índices de umidade relativa do ar, registradas com os ambientes fechados, apresentou distribuição simétrica, com a mediana de 80,95%. A distribuição dos dados dos índices de umidade relativa do ar, registradas com climatizadores de ar ligado, apresentou valores inferiores em relação ao ambiente fechado, com discreta assimetria à direita, e a mediana de umidade relativa do ar foi de 63,5%. Após a abertura dos ambientes com a ventilação natural, os dados obtidos de umidade relativa do ar apresentaram distribuição com tendência à direita e dois pontos de valor díspares, no limite inferior do boxplot. A mediana de umidade relativa do ar com ventilação natural foi de 78,8%. Apenas com o uso de ar-condicionado, a mediana manteve-se inferior ao limite de recomendação da RE/09, da ANVISA(2003), não ultrapassando 65%.

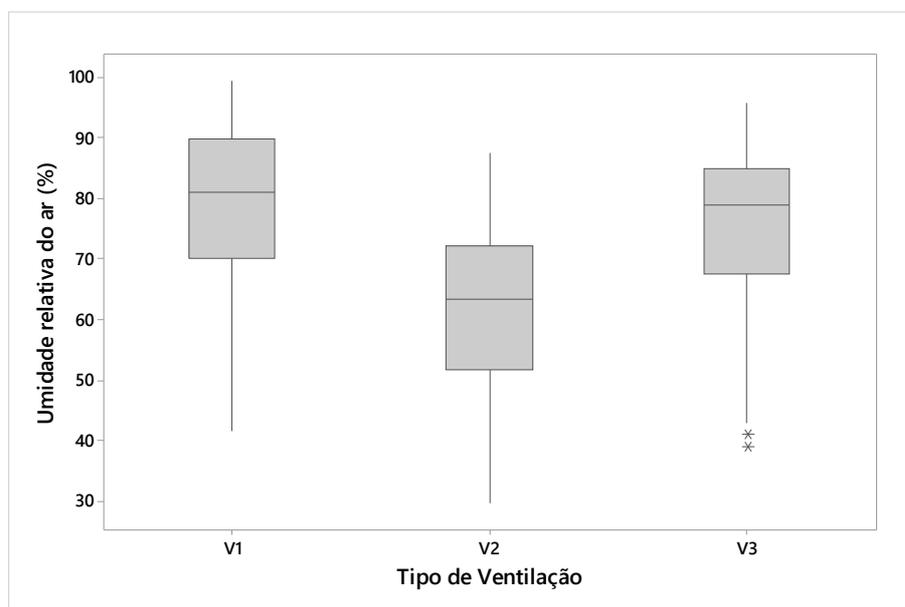


Figura 37 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) com diferentes tipos de ventilação

Fonte: Elaborado pela autora

A umidade relativa do ar variou entre a mínima de 41,5% e 99,5 % com o ambiente fechado; o menor valor com o ar-condicionado em funcionamento foi de 29,5% e o maior de 87,40%, com variação entre o menor valor de 38,8% e 80%, com a ventilação natural.

As diferenças entre as médias de temperatura e umidade relativa do ar, com uso de diferentes tipos de ventilação, são apresentadas através de análise de variância e do teste Tukey na Tabela 5, que indica diferenças significativas entre as médias dos dados de temperatura do ar, com ventilação natural e artificial, mas sem diferença significativa entre as médias com o ambiente aberto e fechado. As diferenças entre as médias de umidade relativa do ar são menores

com a utilização de ar-condicionado em relação à ventilação natural, e se apresentam mais elevadas com o ambiente fechado.

Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey de dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR), com diferentes tipos de ventilação: ambiente fechado (V1); ar-condicionado (V2) e ventilação natural (V3)

Tipo de Ventilação	N	Temperatura (°C)			UR(%)		
		Média	DesvPad	Tukey	Média	DesvPad	Tukey
V1	168	25,705	1,861	A	77,90	14,13	A
V2	144	24,642	1,901	B	61,98	14,49	C
V3	168	25,695	1,843	A	74,19	13,22	B

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de temperatura e umidade relativa do ar. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

O tipo de ventilação em um ambiente, além de influenciar fatores como a temperatura e a umidade relativa do ar, pode interferir na concentração de gases atmosféricos de ambientes internos, como o CO₂ e o H₂CO. Os resultados corroboram Santamouris *et al.* (2008), que, em salas de aula com ventilação natural, mostraram a existência de relação entre a temperatura e a abertura da janela, e que a diferença entre a temperatura do ar exterior e interior pode influenciar a QAI.

5.2.4 Variações temporal e espacial de temperatura e umidade relativa do ar nas escolas objeto de estudo

Os dados obtidos para temperatura e umidade relativa do ar, nos ambientes internos das escolas monitoradas, apresentam resultados variados. As diferenças que ocorrem pode ser explicadas pela localização de cada escola, pois cada uma fica em região da cidade, com diferentes altitudes. A Tabela 6 apresenta a análise de variância entre as escolas, junto com o teste Tukey, para verificar a presença de diferença significativa entre as médias para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar.

Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de temperatura e umidade relativa do ar (UR) entre as escolas objeto de estudo

Escola	N	Temperatura (°C)			UR (%)		
		Média	DesvPad	Tukey	Média	DesvPad	Tukey
1	126	25,236	1,459	B	77,06	15,05	A
2	126	26,130	1,763	A	73,56	16,74	A B
3	112	24,844	1,819	B	69,08	12,39	B C
4	116	25,251	2,370	B	68,33	15,66	C

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de temperatura e umidade relativa do ar. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Examinando a Tabela 6, constata-se a diferença entre as médias das temperaturas do ar na escola 2, em relação à média nas demais escolas, com valores superiores. A maior oscilação de dados de temperatura foi verificada na escola 4. As diferenças ocorridas podem ocorrer em função da localização de cada escola. A Figura 38 possibilita a visualização, através do boxplot, da distribuição de dados de temperaturas por escola.

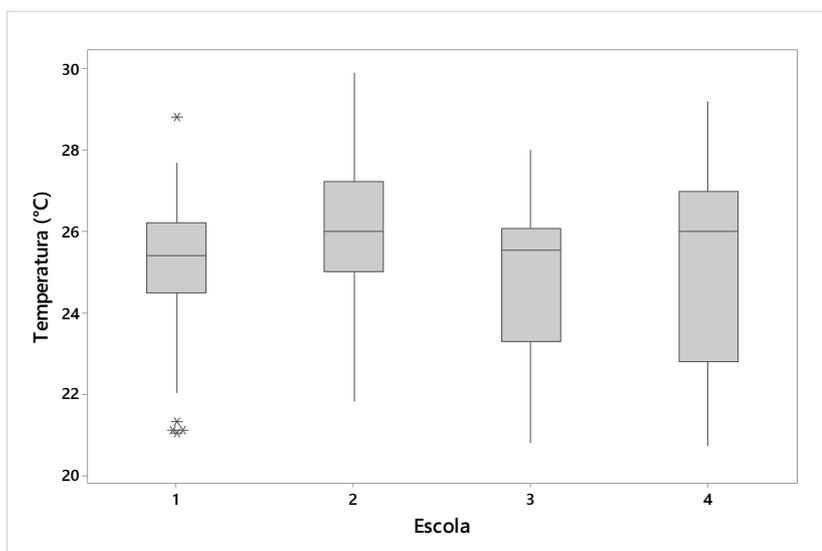


Figura 38 - Boxplot da temperatura do ar (°C) nas escolas objeto de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

Na escola 1, a distribuição dos dados apresenta simetria com apenas um valor acima do limite do boxplot, de 28,8°C, sucedido na última campanha no mês de setembro, no período de estiagem. Também ocorreram seis valores no limite inferior do boxplot, estes na campanha que aconteceu no mês de julho, quando houve queda de temperatura na cidade. Os valores encontrados no limite inferior do boxplot foram de 21,3°C, 21°C e 22,1°C no mesmo ambiente, uma sala de aula, apenas com diferente ventilação, respectivamente: ambiente fechado, com o

ar-condicionado ligado e com ventilação natural. Os outros três valores ocorreram em diferentes ambientes, sendo eles uma sala de aula, a biblioteca e a secretaria escolar.

A média de temperatura na escola 1 foi de 25,46°C, com mediana de 25,4°C. A amplitude de temperatura encontrada nesta escola foi de 7,1°C, variando entre 21°C e 28°C.

Na escola 2, os dados de temperatura mostram-se com moderada simetria à esquerda, com a mediana de 26°C. A amplitude de dados desta variável foi de 8,1°C, com a mínima de 21,8°C e a máxima de 29,9°C, constituindo a maior temperatura obtida durante o estudo. A temperatura média foi de 26,13°C na escola 2.

Na escola 3, o conjunto de dados está distribuído assimetricamente à direita, a mediana foi de 25,55°C; e a média, de 24,8°C. O valor mais elevado de temperatura foi 28,0°C e o menor valor foi 20,8°C.

As temperaturas do ar registradas na escola 4 oscilam entre 20,70°C, a mínima, e 29,20°C, a máxima. Os dados se apresentam com assimetria à esquerda, sem valores distintos. A temperatura mediana, assim como na escola 2, foi de 26° C, porém a temperatura média neste estudo foi de 24,84° C.

As médias de umidade relativa do ar apresentam diferenças significativas entre as escolas da região leste (1) com as das regiões oeste e sul (4); e aproximada semelhança com a média da escola da região norte (2). Para ilustrar o comportamento da variável umidade relativa do ar no ambiente interno de cada escola, o conjunto dos dados é apresentado na Figura 39.

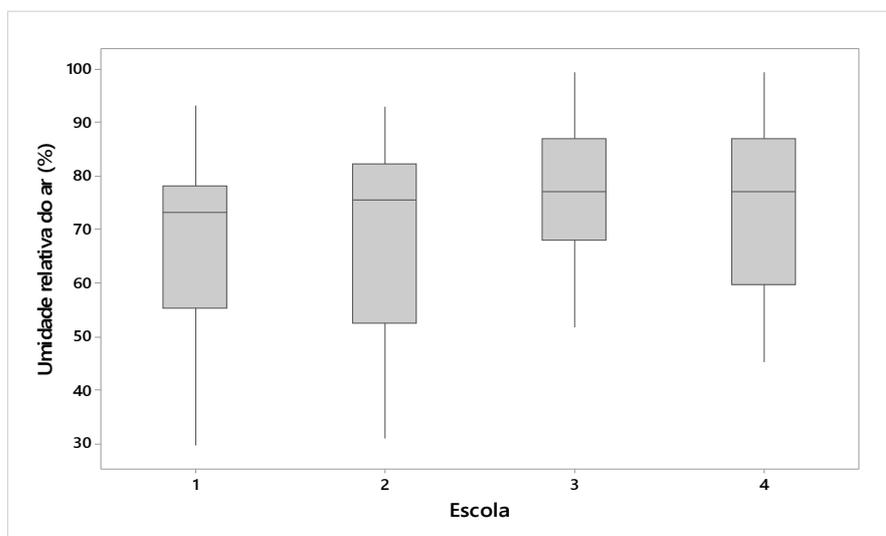


Figura 39 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) das escolas objeto de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 39 possibilita visualizar que existem diferenças entre os índices de umidade relativa do ar em cada uma das escolas. O motivo para tais diferenças pode residir nas variações bioclimáticas, por se tratar de diferentes regiões e a coleta de dados ter ocorrido em dias diferentes em cada escola no decorrer das campanhas.

Na escola 1, a distribuição de dados se apresenta com assimetria à esquerda, sem valor discrepante, com variação entre 29,50% e 93,30%, em que o índice da mediana foi de 73,15%. A umidade relativa do ar na escola 1 apresentou o índice médio de 68,33%. Na escola 2, o menor índice foi 30,90%; e o mais elevado, 92,90%, com a média de 69,08% e a mediana de 75,55%.

Os dados obtidos na escola 3 demonstraram leve simetria, com menor índice medido de 51,70% e máximo de 99,50%; a média foi de 77,06% e a mediana, 77,0%. Na escola 4, o menor valor medido de umidade relativa do ar foi 45,20%, com a média de 73,56%, e a mediana igual à verificada na escola 3: de 77,00%. A exemplo da variável temperatura, foi também na escola 4 onde ocorreu a maior variação.

Por haver diferença entre as médias dos resultados das variáveis físicas temperatura e umidade relativa do ar entre as escolas, optou-se por verificar se existe variação entre as médias por tipologia de ambiente. A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam as estatísticas descritivas de cada tipo de ambiente investigado e os testes Tukey, em conjunto com a análise de variância, para comparar as médias.

Tabela 7 – Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de temperatura entre os diferentes tipos de ambientes

Ambiente	Temperatura			CoefVar	Mínimo	Máximo	Tukey
	Média	DesvPad	Variância				
Biblioteca	25,63	1,943	3,77	7,58	21,1	29,9	A
Sala de aula	25,36	1,955	3,824	7,71	20,7	29,5	A
Sala dos professores	25,26	1,765	3,117	6,99	20,9	28,5	A
Secretaria	25,39	1,960	3,843	7,72	21,0	29,2	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de temperatura. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando a Tabela 7, observa-se que não há diferença significativa nas médias de temperatura do ar verificadas entre os diferentes ambientes. As mais elevadas temperaturas,

durante as coletas de dados (29,9°C), foram medidas na biblioteca, muito próximas à máxima obtida em sala de aula (29,5°C) e na secretaria (29,2°C). As médias dos ambientes tiveram valores muito aproximados, assim como as mínimas, mostrando a ausência de variação expressiva entre os dados, tratando de tipologia de ambiente.

Tabela 8 – Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de umidade relativa do ar (UR) entre os diferentes tipos de ambientes

Ambiente	Umidade Relativa do ar (%)						Tukey
	Média	DesvPad	Variância	CoefVar	Mínimo	Máximo	
Biblioteca	71,17	14,73	217,05	20,7	39,06	95,8	A
Sala de aula	72,19	15,56	242,293	21,56	30,90	99,5	A
Sala dos professores	71,06	14,93	222,85	21,01	37,20	97,60	A
Secretaria	71,69	16,50	272,31	23,02	29,50	93,8	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de umidade relativa do ar. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando a Tabela 8, também não há diferença significativa nas médias dos índices de umidade relativa do ar entre os diferentes ambientes durante o monitoramento. Os mais elevados índices (99,5%) foram obtidos em salas de aula, e o mínimo na secretaria (29,50%). As médias possuem valores bastante aproximados, sem diferença estatisticamente significativa em relação aos ambientes.

Apesar de não haver diferenças significantes entre as médias de temperatura e umidade relativa do ar, por tipo de ambiente, houve diferença das médias por escola, que pode ter ocorrido pela medição ser realizada em diferentes tipos de ambientes. Por isso, optou-se por analisar as médias das diferentes tipologias em gráfico do boxplot, ilustrado na Figura 40.

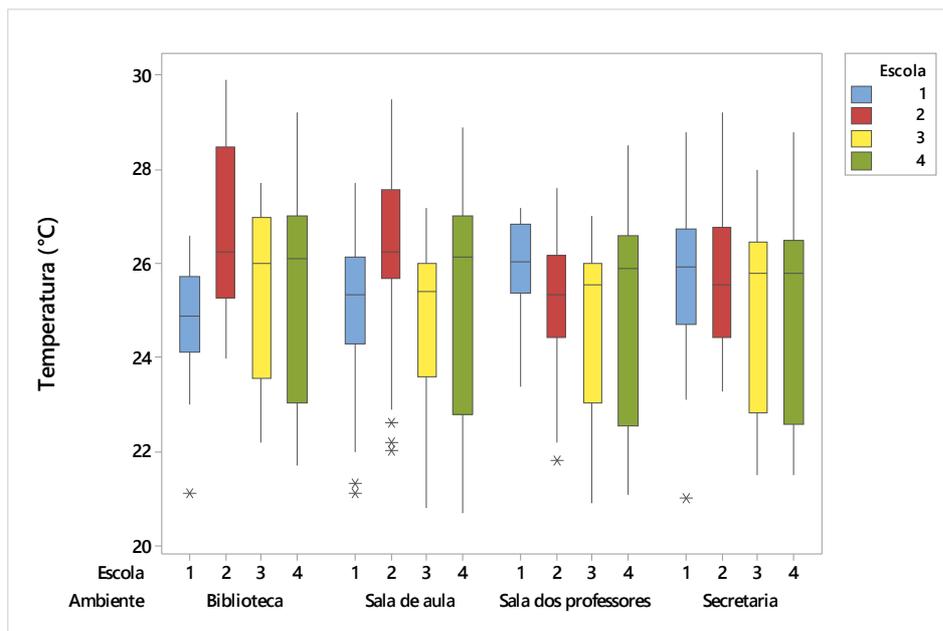


Figura 40 - Boxplot da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) nos diferentes ambientes por escola objeto de estudo.

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando a Figura 40, observa-se que, nas bibliotecas, a média de temperatura entre as escolas foi de $26,77^{\circ}\text{C}$; a escola 2 apresenta maior média nessa tipologia de ambiente e a menor média foi observada na escola 1 ($24,7^{\circ}\text{C}$). Nas escolas 3 e 4, as médias de temperatura foram muito semelhantes ($25,45^{\circ}\text{C}$ e $25,55^{\circ}\text{C}$, respectivamente). Nas bibliotecas, as temperaturas mais elevadas foram medidas na escola 2, e as menores na escola 1, com apenas um valor atípico, não apresentando semelhanças com as médias de outras escolas.

Nas salas de aula, a média da escola 2 permaneceu mais alta em relação às demais ($26,30^{\circ}\text{C}$) e apresentou as maiores temperaturas (com a máxima de $29,5^{\circ}\text{C}$). As médias foram semelhantes para ambientes de sala de aula, de $25,09^{\circ}\text{C}$ na escola 1, de $24,74^{\circ}\text{C}$ na escola 3 e $25,24^{\circ}\text{C}$ na escola 4. As salas de aula que apresentaram menores temperaturas foram as da escola 4 (com a mínima de $20,7^{\circ}\text{C}$), onde também foi verificada a maior amplitude entre os dados (entre $20,7^{\circ}\text{C}$ e $28,9^{\circ}\text{C}$). Na escola 1, as temperaturas nas salas de aula variaram entre $21,1^{\circ}\text{C}$ e $27,7^{\circ}$; e na escola 3, de $22,2^{\circ}\text{C}$ a $27,2^{\circ}\text{C}$.

Em ambientes de salas de professores, as médias foram semelhantes entre as escolas. A média mais elevada foi da escola 1 ($25,89^{\circ}\text{C}$); a menor média, na escola 3 ($24,68^{\circ}\text{C}$); e as medias nas escolas 2 e 4 foram, respectivamente, de $25,17^{\circ}\text{C}$ e $25,11^{\circ}\text{C}$. As salas de professores da escola 4 apresentaram os maiores valores de temperatura (máxima de $26,6^{\circ}\text{C}$), a maior variação entre os dados. Os menores valores de temperatura foram coletados na escola 3 (mínima de $20,9^{\circ}\text{C}$).

A média de temperatura mais alta entre as secretarias das escolas foi da escola 2 (25,8°C), mas a exemplo das salas de professores, as médias de temperatura para esse ambiente foi muito semelhante entre as escolas: de 25,57° C na escola 1; na escola 3, de 26 °C; e 25,1°C, na escola 4. Os mais elevados valores de temperatura encontrados no ambiente da secretaria ocorreram na escola 2; e os valores mínimos aconteceram na escola 4.

Assim como ocorre com a temperatura, a umidade relativa do ar pode variar entre os ambientes. O gráfico da Figura 41 demonstra a variação por ambiente entre as escolas.

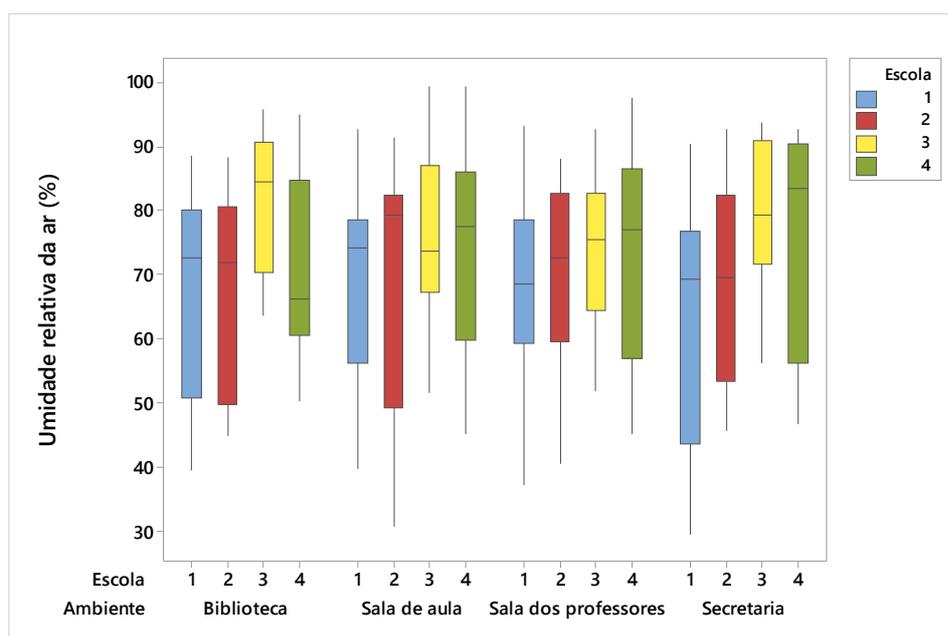


Figura 41 - Boxplot da umidade relativa do ar em % nos diferentes ambientes de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

Observando o gráfico da Figura 41, os maiores valores de umidade relativa do ar em bibliotecas foram encontrados na escola 3, assim como as médias mais elevadas (81,29%). Os menores valores, assim com as menores médias (67,06%), na escola 1. As médias das escolas 2 e 4 foram, respectivamente, de 68,13% e 71,14%.

O valor mais elevado para esse índice médio de umidade relativa do ar em salas de aula permaneceu na escola 3 (76,59%), assim como os mais elevados valores. As salas de aula das escolas 1 e 2 apresentaram as menores médias (69,40% e 69,24%, respectivamente), assim como os menores índices de umidade relativa do ar. Na escola 4, a média para salas de aula foi de 73,88%.

Em salas de professores, as menores médias de umidade relativa foram obtidas nas escolas 1 e 2 (68,14% e 69,60%, respectivamente). A maior média observada foi na escola 3 (74,9%). A média da escola 4 foi de 72,82%, e os maiores valores medidos de umidade relativa do ar foram nesta escola, enquanto que os menores foram na escola 1.

As médias de umidade relativa do ar nas secretarias, assim como em todos os tipos de ambientes aqui apresentados, foram maiores na escola 3 (78,81%), assim como também os mais elevados valores de umidade relativa do ar. A menor média (65,06%) e os menores valores encontrados nas secretarias foram da escola 1. Nas escolas 2 e 4, as médias de umidade relativa do ar foram, respectivamente, de 68,83% e 85,48%.

Analisando o comportamento da variável umidade relativa do ar, em cada escola por tipo de ambiente, percebe-se que, em todos, a média mais elevada se apresenta na escola 3 e as menores médias ocorrem na escola 1, confirmando as informações apresentadas na gráfico da Figura 39.

Após realizar a análise espacial das variações entre as temperaturas e umidade, faz-se necessária a análise temporal para verificar as oscilações ocorridas em cada escola, em virtude do tempo. A Figura 42 ilustra os valores de temperaturas internas em um gráfico boxplot, nas diferentes escolas por campanha, destacando para o verão (em vermelho) e para o inverno (em azul) os limites recomendados pela ANVISA (RE 09/2003). Nas quatro escolas, as medianas encontram-se dentro dos limites máximos previstos para o verão em algumas datas, porém, extrapolaram em diversas delas a faixa limítrofe recomendada tanto para o verão quanto para o inverno pela RE 09, da ANVISA (BRASIL, 2003).

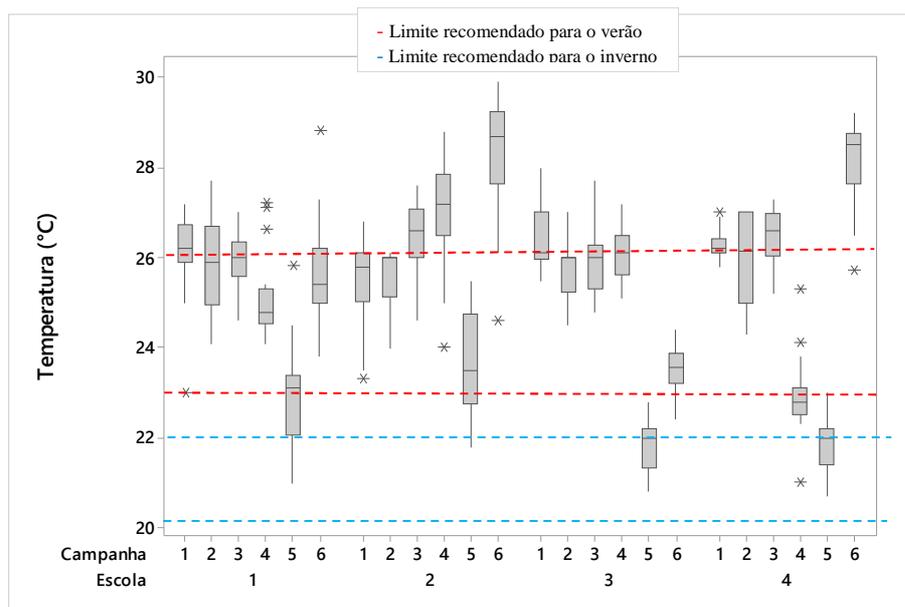


Figura 42 - Boxplot da temperatura do ar (°C) em diferentes campanhas.

Fonte: Elaborado pela autora

Na escola 1, as temperaturas do ar se apresentaram mais elevadas nas três primeiras campanhas (chuvosa), com queda dos valores na terceira, na quarta e na quinta campanha, voltando a aumentar na sexta e última campanha.

Na escola 2, as temperaturas nas duas campanhas iniciais se apresentam com as medianas próximas a 26°C, elevando-se nas campanhas 3 e 4, com queda abrupta na quinta campanha, voltando a subir na sexta e última campanha.

Na escola 3, as maiores temperaturas foram registradas na primeira campanha; nas sequenciais, as temperaturas tiveram leve queda, mantendo as medianas próximas a 26°C e registraram menores valores nas duas últimas campanhas.

Os resultados de temperatura na escola 4, ao longo das campanhas de coletas de dados, apresentaram valores acima dos recomendados nas três primeiras campanhas, com abrupta queda durante as duas campanhas seguintes; e a maior temperatura ocorreu na sexta e última campanha.

Ao longo das campanhas nas escolas, as menores temperaturas ocorreram na quinta campanha, que aconteceu durante o período de estiagem no mês de julho, período em que aconteceu queda de temperatura em todo o município.

O comportamento dos dados de temperatura não se apresenta homogêneo durante as campanhas e pode influenciar a qualidade do ar interior, assim como a umidade relativa do ar.

Para verificar a evolução temporal da umidade relativa do ar, a Figura 43 ilustra os índices medidos em um gráfico boxplot, nas diferentes escolas por campanha, destacando os valores mínimos para o verão (em vermelho) e para o inverno (em azul), e os valores que não devem ser ultrapassados (em verde), segundo as recomendações da ANVISA (RE 09/2003).

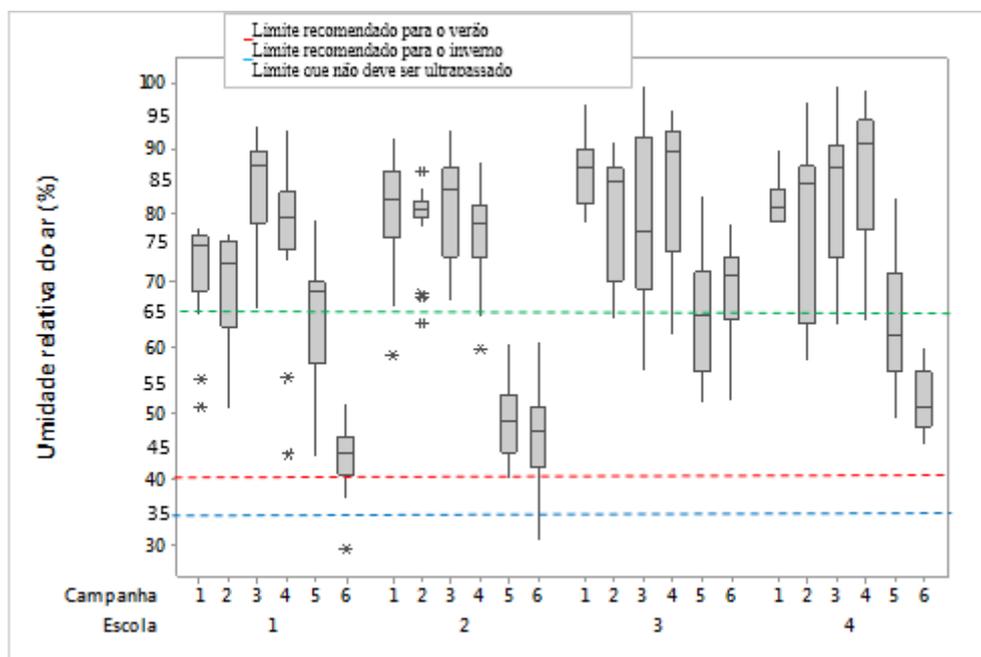


Figura 43 - Boxplot da umidade relativa do ar (%) em diferentes campanhas
Fonte: Elaborado pela autora

Observando a Figura 43, verifica-se que, nas quatro escolas, poucas são as datas em que foram obtidos valores que não extrapolaram a faixa limítrofe, que não deve ultrapassar 65% durante todo o ano para a umidade relativa do ar. Os maiores índices de umidade relativa do ar em ambiente interno, com exceção da escola 4, foram medidos nas três primeiras campanhas em todas as escolas. Os menores índices obtidos ocorreram nas duas últimas campanhas de coleta de dados (período de estiagem).

5.2.5 Temperatura e umidade relativa do ar com instrumentos instalados em diferentes alturas

As medições realizaram-se em sequência em cada ambiente. A partir da segunda campanha, as medições foram realizadas com os instrumentos em duas diferentes alturas em relação ao piso, primeiro a 1,5 metro de altura e, imediatamente na sequência, a 0,90 metro, em cada ambiente. O comportamento dos dados de temperatura mostrou-se bastante semelhante,

em se tratando da altura de instalação dos instrumentos de medição, conforme ilustra a Figura 44.

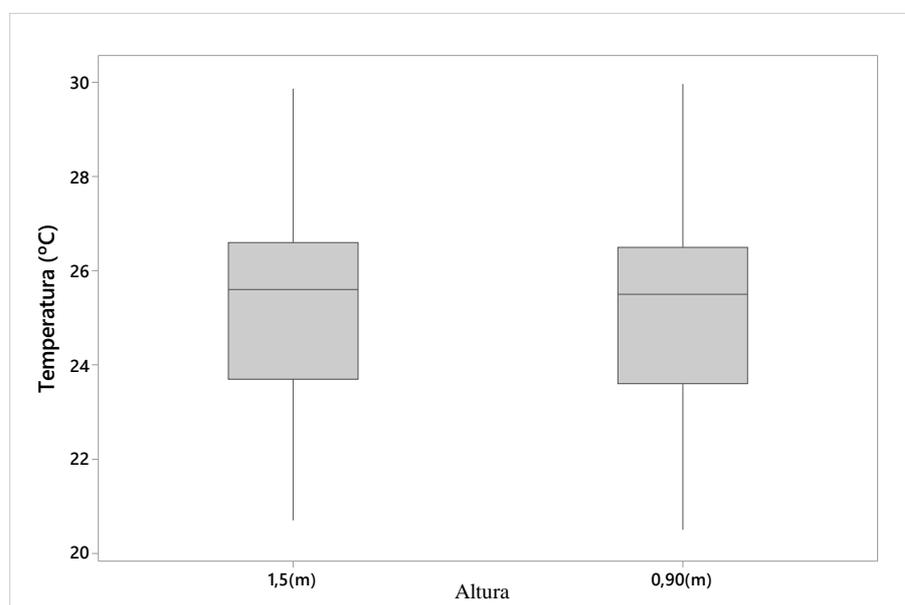


Figura 44 - Boxplot de temperatura do ar (°C) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)

Fonte: Elaborado pela autora

O teste Tukey demonstra não haver diferença entre as médias de temperatura e as diferentes alturas medidas, e o resumo dos dados de estatística descritiva confirma a semelhança entre os resultados, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Estatística descritiva e teste Tukey de dados de temperatura em alturas diferentes

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo	Tukey
Temperatura (° C) em 1,5 m	25,271	2,033	20,700	25,600	29,900	A
Temperatura (° C) em 0,9 m	25,160	2,041	20,500	25,500	30,000	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de temperatura. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar da ausência de diferença expressiva entre os dados de temperatura do ar, com os instrumentos instalados em diferentes alturas, o gráfico de intervalos da Figura 45 ilustra que, com os instrumentos instalados à altura de 0,90 m em relação ao piso, a temperatura medida esteve ligeiramente inferior em relação à temperatura medida à altura de 1,5 m, o que pode ser explicado pelo fato de que a densidade do ar frio é maior que a densidade do ar quente, por isso o ar frio tende a descer, tornando a temperatura um pouco inferior na altura de 0,90 m.

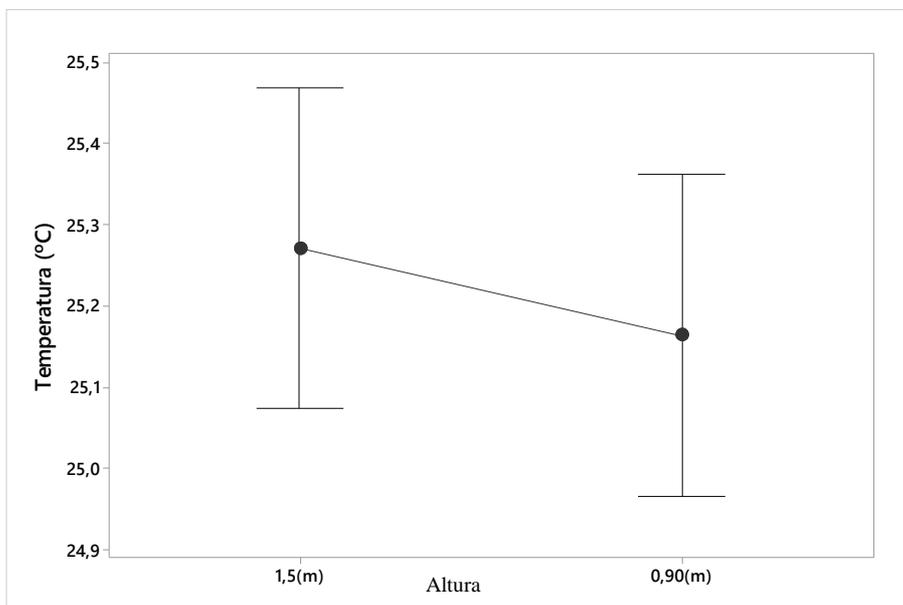


Figura 45 - Gráfico de intervalos de temperatura do ar (°C) em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)
Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se não haver diferença no comportamento dos dados referentes à umidade relativa do ar, assim como ocorreu com a temperatura, em se tratando da altura de instalação dos instrumentos de medição, conforme ilustra a Figura 46.

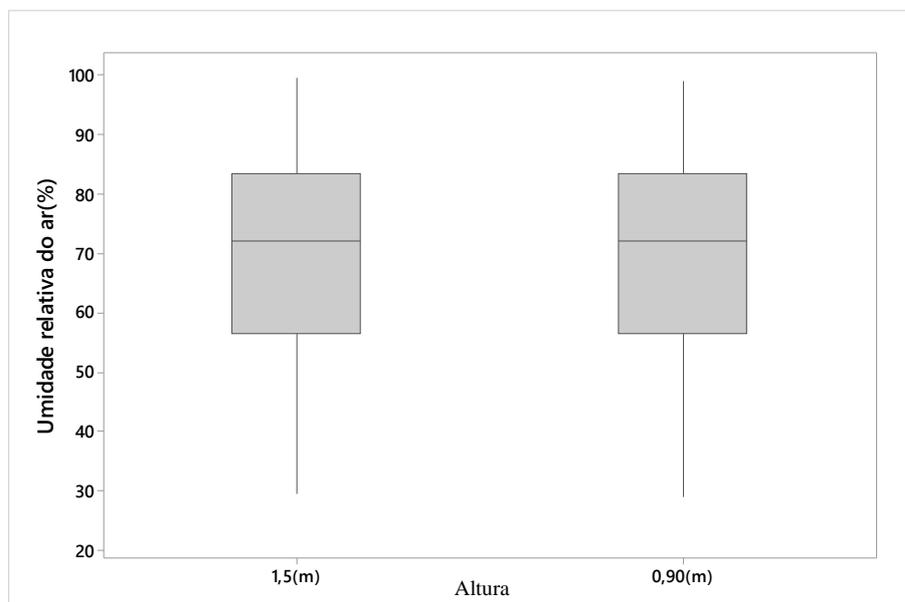


Figura 46 - Boxplot de umidade relativa do ar (%) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)
Fonte: Elaborado pela autora

Assim como ocorreu com os dados de temperatura do ar, o teste Tukey demonstra não haver diferença entre as médias com as diferentes alturas medidas, e o resumo dos dados de estatística descritiva confirma a semelhança entre os resultados, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de umidade relativa do ar (UR) em diferentes alturas

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo	Tukey
UR%(1,5 m)	70,502	15,988	29,500	72,200	99,500	A
UR%(0,9 m)	70,419	15,988	29,100	72,000	99,000	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de umidade relativa do ar. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

A ausência de diferença significativa entre os dados de umidade relativa do ar, com os instrumentos instalados em diferentes alturas, é confirmada através da ilustração do gráfico de intervalos da Figura 47.

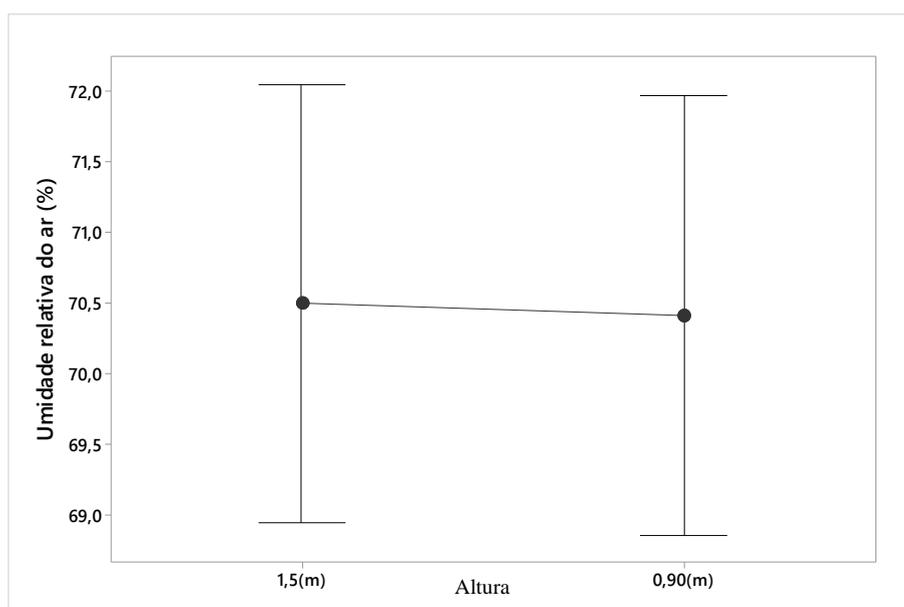


Figura 47 - Gráfico de intervalos de umidade relativa do ar em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)

Fonte: Elaborado pela autora

5.3 CONCENTRAÇÃO DE CO₂

A concentração de CO₂ medida em escolas de ensino fundamental do município de Cuiabá-MT, durante o monitoramento, teve amplitude de variação de 623 ppm. A distribuição dos dados de concentração de CO₂ medida durante o estudo foi aproximadamente simétrica, todavia com atipicidade de valores no limite superior do gráfico tipo boxplot, que pode ser

visualizada na Figura 48. As medianas para concentrações de CO₂ encontram-se em níveis recomendados pela RE 09 (ANVISA, 2003), que determina que os valores máximos recomendáveis para concentração de CO₂ devem ser inferiores a 1000 ppm.

A maior concentração de CO₂ medida durante as coletas foi 1180 ppm, tratando-se da única ocorrência que ultrapassou o limite de recomendação da RE 09/2003, da ANVISA. A NBR 16401 (ABNT, 2008) descreve que uma única medição acima de 1000 ppm não descreve que o critério não é satisfeito, desde que não ultrapasse 700 ppm a concentração do ar exterior, o que não ocorreu, pois no dia desta campanha de coleta de dados, a concentração de CO₂ no ambiente externo foi 706 ppm.

As concentrações de CO₂ servem de indicador de renovação de ar, e os limites são recomendados para o conforto e bem-estar dos ocupantes do ambiente interno. Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008), não pode ser considerado um indicador de qualidade do ar no recinto, pois inúmeros poluentes químicos presentes, além dos produzidos por ocupantes, não têm relação com a concentração de CO₂.

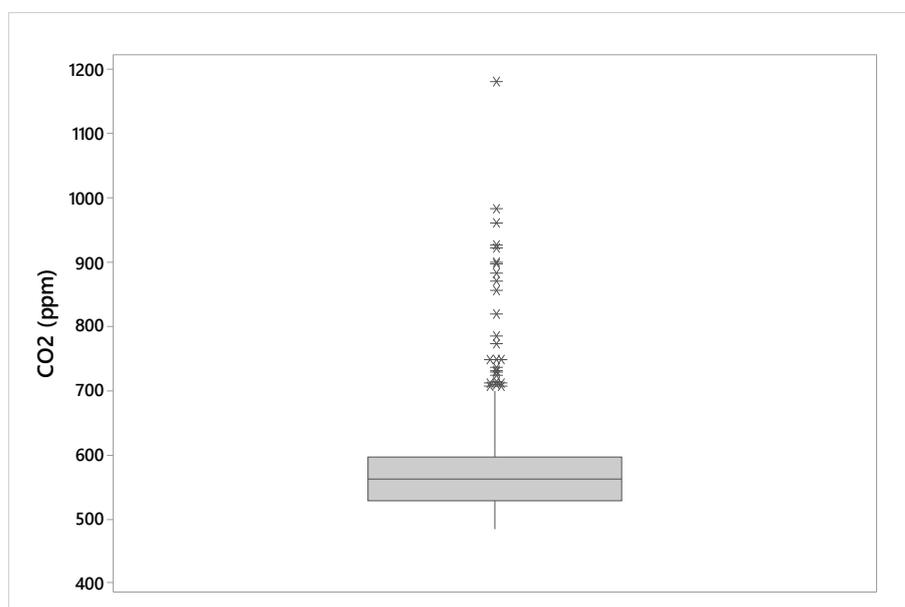


Figura 48 - Boxplot da concentração de CO₂ (ppm)
Fonte: Elaborado pela autora

A grande quantidade de valores atípicos evidencia que o comportamento desta variável pode sofrer influência de alguns fatores que serão apresentados na sequência. As coletas foram realizadas em duas distintas sazonalidades, o que pode causar influência nas concentrações de gases atmosféricos.

5.3.1 Concentração de CO₂ nas escolas em estudo durante estações sazonais de chuva e seca

As precipitações pluviométricas promovem a limpeza da atmosfera e tornam a concentração de gases menor que na estação de estiagem, com ausência de chuvas. A máxima concentração de CO₂ medida durante a estação de chuva foi de 763 ppm; e a mínima, de 475 ppm; a média foi de 532,26 ppm e a amplitude dos dados foi de 288 ppm.

Durante a estação de seca, a máxima concentração de CO₂ medida foi de 1180 ppm e a mínima de 513 ppm; a média foi de 598,92 ppm e a amplitude dos dados foi de 667 ppm. As diferenças entre os dados de estação de chuva e seca são ilustradas na Figura 49, em gráfico de boxplot.

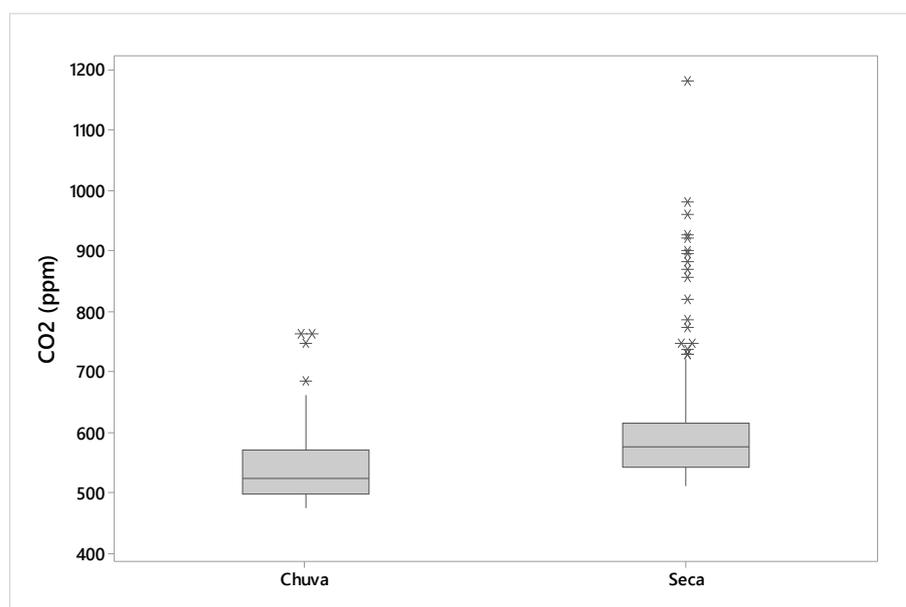


Figura 49 - Boxplot da concentração de CO₂ (ppm) em diferentes estações sazonais
Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 49 mostra uma distribuição aproximadamente assimétrica à esquerda durante a estação chuvosa. Durante a estiagem, a distribuição dos dados se apresenta aproximadamente simétrica. A mediana, para as duas estações, insere-se nos limites recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA.

As diferenças entre as concentrações médias de CO₂, para as estações chuvosa e de estiagem, são apresentadas através de análise de variância e teste Tukey na Tabela 11. Para evitar a influência nas análises estatísticas por valores espúrios, optou-se pelo descarte de tais valores para esta análise.

Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO₂) entre as estações sazonais (chuva e seca)

Estação	N	CO ₂ (ppm)		
		Média	DesvPad	Tukey
Chuva	228	535,75	42,53	A
Seca	230	580,40	53,59	B

A, B: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de CO₂. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias

Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 11 demonstra a existência de diferença significativa entre as médias das estações de chuva e seca, apresentando maior variação entre os dados durante a estação de seca. A concentração de CO₂ medida na estação chuvosa incluiu o comportamento esperado, apresentando menor variação que a da estação de seca.

Os resultados obtidos corroboram os estudos sobre a concentração de CO₂ em ambientes internos, em diferentes estações sazonais, que no período de estiagem foi maior que no período de seca (LUCIANO, 2015; COMIN, 2012).

5.3.2 Correlação entre temperatura e umidade relativa e a concentração de CO₂

Uma importante análise a ser feita é a correlação dos valores de concentração de CO₂ com umidade relativa do ar e temperatura do ar, para verificar se as variáveis climatológicas causaram interferência na concentração desse gás. O coeficiente de correlação dos resultados entre as variáveis CO₂ e temperatura foi de $r = -0,347$, com significância estatística ínfima ($p < 0,0001$). As correlações negativas indicam que as duas variáveis se movem em sentidos opostos, ou seja, há uma tendência (muito fraca, neste caso) de que, quando a temperatura está alta, sejam verificadas baixas concentrações e vice-versa, conforme o gráfico da Figura 50.

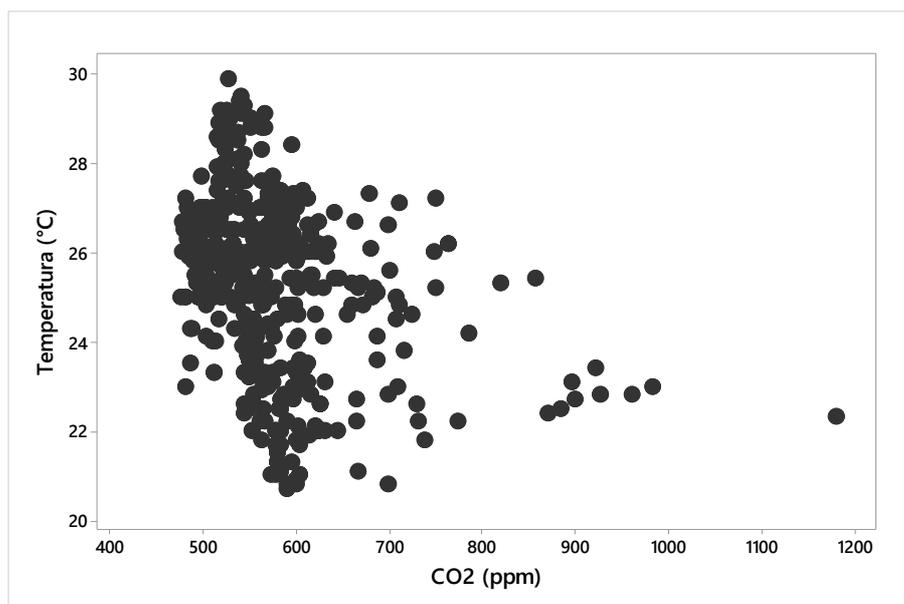


Figura 50 - Gráfico de dispersão de concentração de CO₂ (ppm) *versus* temperatura do ar (°C)

Fonte: Elaborado pela autora

Um fator que pode ter interferência na correlação negativa nas salas climatizadas é a emissão de CO₂ pelos próprios aparelhos de ar-condicionado, que em funcionamento liberam certa quantidade de CO₂ no ambiente climatizado (WEB AR CONDICIONADO, 2015 apud COMIN, 2012). Assim, quanto menor a temperatura de operação, maior será a concentração de gás liberado. A correlação entre as variáveis CO₂ e umidade relativa do ar foi extremamente baixa: de $r=0,02$, com significância estatística ($p<0,002$), conforme gráfico da Figura 51.

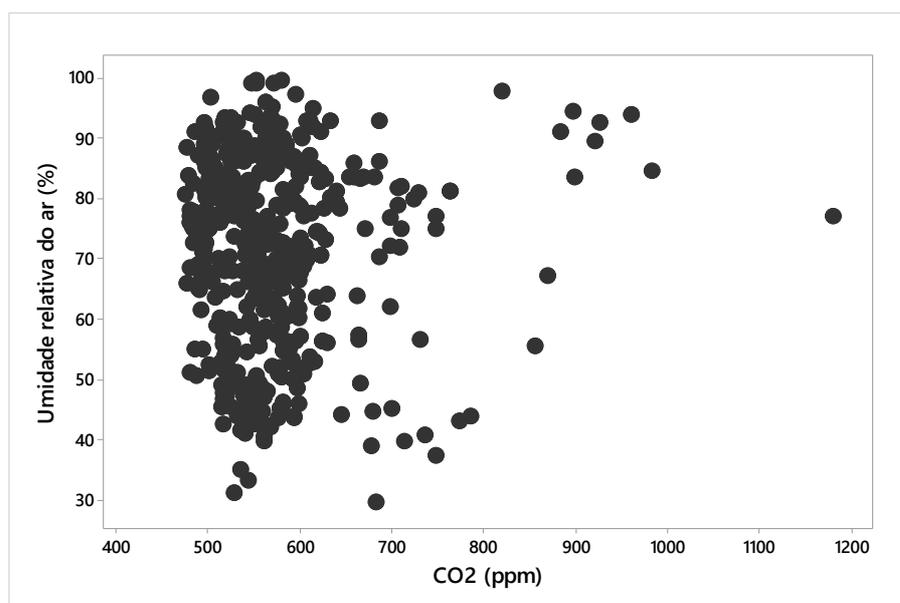


Figura 51 - Gráfico de dispersão de concentração de CO₂ (ppm) *versus* umidade relativa do ar (%)

Fonte: Elaborado pela autora

A correlação ínfima, porém positiva, indica que a variação de valores de concentrações de CO₂ mais altos poderia ser associada a altos índices de umidade relativa do ar.

5.3.3 Concentração de CO₂ em diferentes tipos de ventilação

As principais fontes de emissão de CO₂ nas escolas são o nível de ocupação, o tipo de ventilação, as características construtivas e a renovação do ar (LEE; CHANG, 2000; MUMOVIC et al., 2009). Durante as amostragens, não houve grande oscilação da concentração de CO₂ com diferentes tipos de ventilação. A distribuição dos dados com os diferentes tipos de ventilação, apresentados no gráfico da Figura 52, ilustra a variação de CO₂ em relação a cada tipo de ventilação, são elas: com o ambiente fechado (V1), com ar-condicionado ligado (V2) e com o ambiente aberto com ventilação natural (V3).

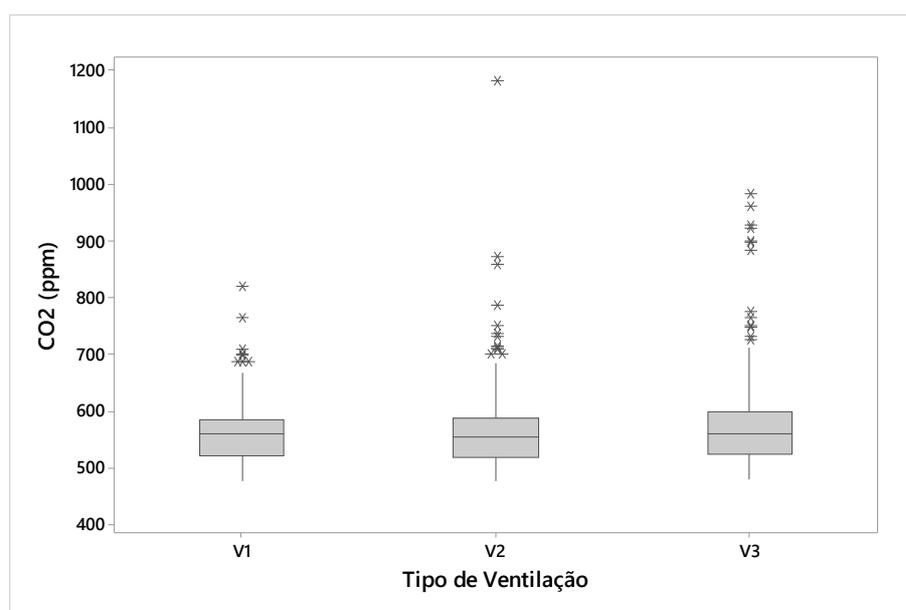


Figura 52 - Boxplot da concentração de CO₂ (ppm) com uso de diferentes ventilações
Fonte: Elaborado pela autora

Os picos para amostragem interna, verificados nos limites superior do boxplot no gráfico da Figura 52, representam a variabilidade ocasionada provavelmente pela entrada de pessoas durante a medição. Como as salas permaneciam vazias e fechadas durante o fim de semana, os valores com ambiente fechado apresentam-se menores em relação aos outros tipos de ventilação. Com a chegada de funcionários emitindo CO₂ (respiração humana), as concentrações oscilavam, assim como descreveu Comin (2012) em seu trabalho.

Observa-se a existência de grande quantidade de valores espúrios, assim para evitar a influência nas análises estatísticas, optou-se pela retirada destes para a análise por tipo de ventilação. A Tabela 12 apresenta a análise de variância e o teste Tukey das concentrações de CO₂, com diferentes tipos de ventilação e com a remoção dos dados espúrios.

Tabela 12 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO₂) com diferentes ventilações: ambiente fechado (V1); ar-condicionado (V2) e ventilação natural (V3)

Tipo de ventilação	CO ₂ (ppm)			
	N	Média	DesvPad	Tukey
V1	160	553,26	43,07	A
V2	131	551,20	46,96	A
V3	153	557,57	50,18	A

A, B: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração CO₂. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar da disparidade de concentrações entre tipos de ventilação, a análise na Tabela 12 demonstra a ausência de diferença significativa entre as concentrações médias de CO₂, diferentemente dos resultados obtidos em estudos que descrevem que os altos níveis de CO₂ indicaram que a ventilação era inadequada e contribuiu para o estabelecimento de má qualidade do ar interior (SANTAMOURIS *et al.*, 2008; HEUDORF; NEITZERTB; SPARK, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2011; ROSBACH *et al.*, 2013).

As máximas concentrações identificadas podem ser em função de variados fatores, como permanência por tempo prolongado dos ambientes fechados, pouca renovação do ar interior ou influência de concentrações de CO₂, oriundas de atividades do entorno das edificações. O trânsito do local está comprometendo a qualidade do ar das escolas (AVIGO JUNIOR, 2008). Assim a localização de cada escola pode ter influência nesta variável.

5.3.4 Dinâmica de concentração de CO₂ nas escolas objeto de estudo

A concentração de CO₂ pode apresentar diferentes comportamentos de acordo com a localização da edificação. A Tabela 13 apresenta a análise de variância entre as escolas, com o intento de examinar se existem diferenças significativas entre as concentrações médias deste gás nos ambientes internos. Fadeyi *et al.* (2014) e Luciano (2015) encontraram diferentes resultados para concentração de CO₂ em diferentes locais. Para realizar essa análise, por escola, foram descartados os valores espúrios a fim de evitar interferência nas análises estatísticas.

Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO₂) entre as escolas objeto de estudo

CO ₂ (ppm)						
Escola	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo	Tukey
1	563,44	74,07	476,00	546,50	748,00	B
2	542,62	38,44	475,00	540,50	624,00	B
3	552,27	36,21	486,00	548,00	639,00	B
4	571,95	36,02	508,00	575,00	666,00	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de CO₂. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando a Tabela 13, houve diferença pouco significativa entre as médias na concentração de CO₂ entre a escola 4 e as demais, apresentando a média de 571,95 ppm. A concentração média obtida de 563,44 ppm na escola 1; na escola 2, de 542,62 ppm; e 552,27 ppm na escola 3 demonstra semelhança entre as médias nas três escolas. A Figura 53 ilustra a distribuição dos dados de concentração de CO₂ por escola objeto de estudo.

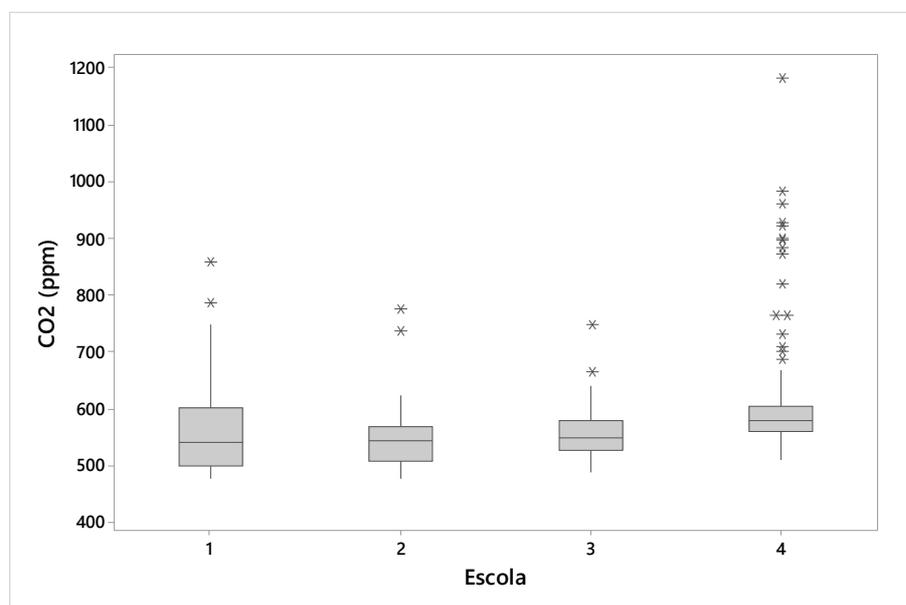


Figura 53 - Boxplot da concentração de CO₂ (ppm) nas escolas objeto de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

Na escola 1, o diagrama de boxplot mostra a distribuição aproximadamente simétrica com apenas dois valores atípicos, ocorridos na campanha 4, sendo um dos valores obtidos na sala dos professores e o outro na secretaria, ambos os ambientes com ocupação por funcionários e com a utilização de condicionador de ar.

Na escola 2, o comportamento se repete, porém, neste caso, os dois valores atípicos ocorreram na sala dos professores. Na escola 3, foram dois valores acima do limite superior do boxplot, sendo na estação chuvosa, na sala de professores; e na secretaria, na estação de seca sem ocupação. Esses episódios isolados, no caso da escola 3, ocorreram com os ambientes abertos, com ventilação natural e podem ter sido causados pela influência da avenida adjacente à escola.

Na escola 4, a distribuição dos dados aproximadamente assimétrica à direita, com muitos valores anômalos, sob o uso de diferentes tipos de ventilação nos diferentes ambientes, apresenta grande oscilação.

O tipo de ventilação pode ser um fator determinante para níveis de concentração de CO₂, servindo inclusive de indicador de renovação do ar interior. A Figura 54 apresenta as máximas concentrações de CO₂, mensuradas para os diferentes tipos de ventilação, por escola, durante as coletas de dados.

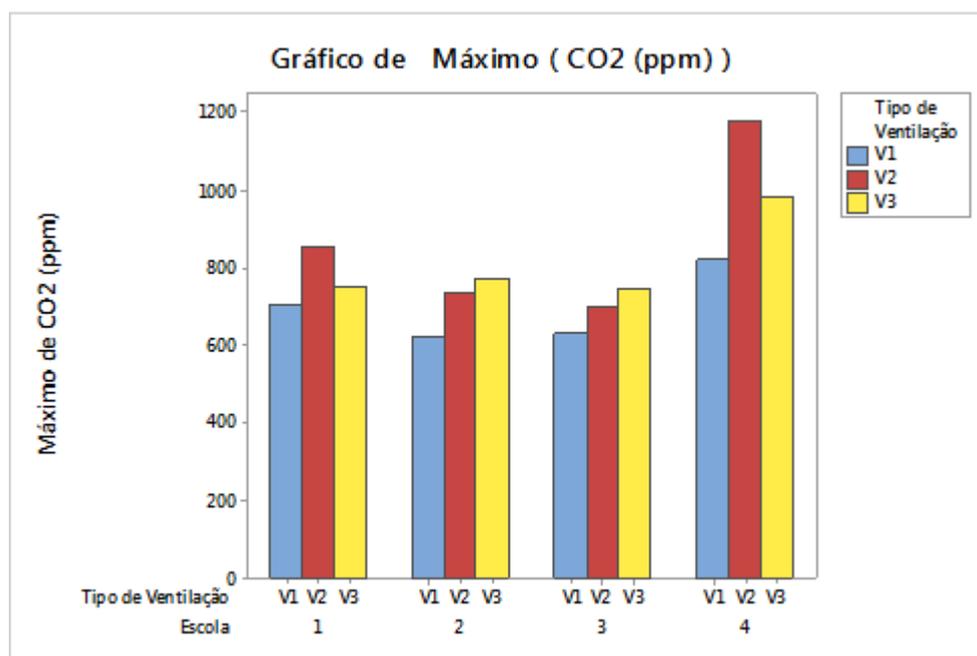


Figura 54 - Gráfico de máximas concentrações de CO₂ (ppm) com uso de diferentes ventilações

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando o gráfico da Figura 54, observam-se diferenças nas concentrações máximas de CO₂ entre ambientes abertos e fechados, e também entre ambientes com ventilação natural e artificial. As concentrações de CO₂ foram menores em ambientes fechados em relação aos abertos.

Na escola 1 e na escola 4, as máximas concentrações de CO₂ foram observadas com o uso de ar-condicionado, sendo verificadas, em alguns casos, em ambientes com ocupação. Na escola 2 e na escola 3, as concentrações verificadas com ambiente fechado aumentam com o uso de condicionador de ar e ainda mais com a abertura dos ambientes. Tal comportamento demonstra que o aumento de concentrações de CO₂ é oriundo, nestas duas escolas, de introdução por meio externo, porém também demonstra haver renovação do ar.

As diferentes concentrações de CO₂ podem estar associadas a características de cada escola e oscilam de acordo com o ambiente. A mais elevada concentração durante as coletas de dados (1180 ppm) e as médias com diferença significativa em relação aos demais ambientes ocorreram em sala dos professores. Também nesse ambiente se apresenta a maior heterogeneidade entre os dados. Os menores valores mensurados de CO₂ foram na biblioteca (475 ppm). Com a finalidade de verificar as diferenças entre as concentrações de CO₂, de acordo com o ambiente, a Tabela 14 apresenta a estatística descritiva e a análise de variância das concentrações de CO₂, e mostra as diferenças significativas nas médias de concentração de CO₂ entre os diferentes ambientes. Para evitar a influência dos dados espúrios, optou-se pelo descarte na realização desta análise.

Tabela 14 – Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de dióxido de carbono (CO₂) entre as diferentes tipologia de ambientes

Ambiente	CO ₂ (ppm)						
	Média	DesvPad	Mediana	CoefVar	Mínimo	Máximo	Tukey
Biblioteca	553,37	51,09	560,50	9,23	475,00	710,00	B
Sala de aula	548,47	40,22	547,00	7,33	481,00	670,00	B
Sala dos professores	583,03	74,71	574,00	12,81	476,00	773,00	A
Secretaria	571,37	58,65	565,00	10,27	483,00	728,00	A B

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de CO₂. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

No ambiente secretaria, as médias obtidas de concentração de CO₂ (571,37 ppm) são próximas das obtidas em sala de professores, mas não se diferem significativamente das demais. Nos demais ambientes, as médias conferidas não possuem diferenças significantes estatisticamente. A Figura 55 ilustra a distribuição dos dados por tipologia de ambientes em cada uma das escolas.

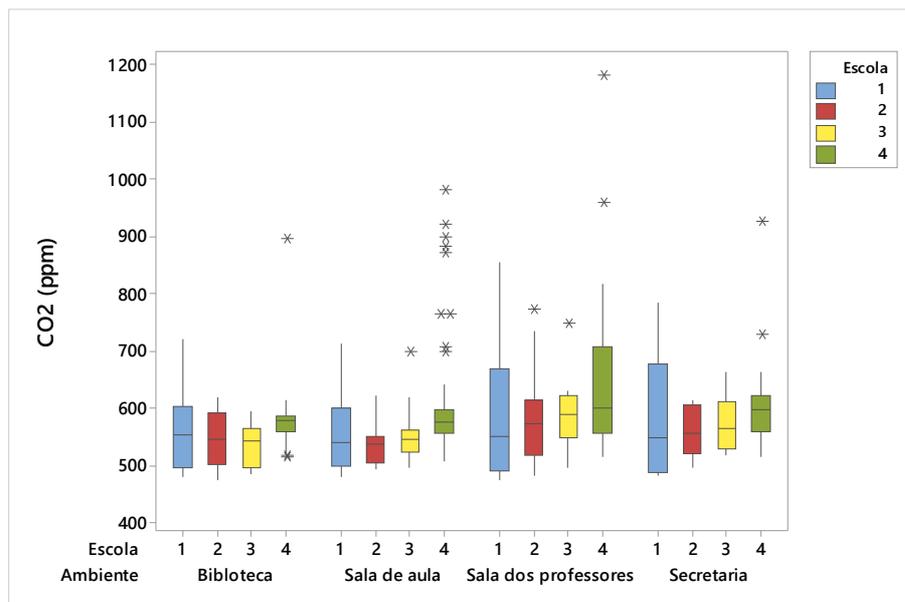


Figura 55 - Boxplot da concentração de CO₂ (ppm) em diferentes ambientes objetos de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

Verifica-se, na Figura 55, que a biblioteca da escola 1 apresentou valores mais elevados em relação às demais, porém o mais elevado valor para média de concentração de CO₂ foi encontrado na escola 4. Nas bibliotecas, houve pouca variação entre as médias, sendo de 567,3 ppm na escola 1, e 547,8 ppm na escola 2; e a menor média de CO₂ foi na escola 3: 536,3 ppm.

As concentrações de CO₂ nas bibliotecas das escolas atingiram valores máximos de 723,0 ppm, 619,0 ppm e 596,0 ppm, para as respectivas escolas 1, 2 e 3; e de 896 ppm na escola 4. As diferentes concentrações nessa tipologia de ambientes justificam-se porque a biblioteca em cada escola tem um dimensionamento, além de materiais e características peculiares.

A biblioteca da escola 1 se localiza ao fundo da edificação, sem muita influência de poluentes externos. Esta escola não está localizada junto a avenidas, e o fluxo de veículos próximo é baixo. A principal fonte de CO₂, nesta biblioteca, é pela própria ocupação e pela pouca renovação do ar. Na escola 2, a biblioteca, apesar de ter amplas janelas e conter sistema de ventilação cruzada, encontra-se próxima ao muro e adjacente à avenida 21, de intenso fluxo de veículos e transporte público (ônibus). A biblioteca da escola 3 permanece com janelas abertas durante o funcionamento, utilizando ventiladores mecânicos; o sistema de refrigeração não chegou a funcionar após a entrega das obras, durante as coletas de dados. Juntamente com a biblioteca da escola 4, funciona a sala de informática, que se localiza na parte frontal da edificação, próxima à avenida, contando com sistema de ventilação cruzada e apresentando os mais elevados valores de concentração de CO₂ dentre as bibliotecas.

Alguns detalhes diferem as salas de aula das escolas, porém estas possuem características muito semelhantes, com padronização de ambientes. As salas de aula na escola 4 apresentaram maiores concentrações de CO₂, com a média de 603,7 ppm. Nas escolas 1, 2 e 3, as médias possuem valores semelhantes, respectivamente 560,75 ppm, 533,94 ppm e 548,24 ppm.

A concentração máxima de CO₂ durante os monitoramentos foi de 714,00 ppm em sala de aula da escola 1. As salas de aula ficam na parte do fundo da edificação, possuem sistemas de ventilação cruzada, área vegetada adjacente, e as janelas são modelo basculante. A máxima concentração de CO₂ para salas de aula da escola 2 foi de 623,00 ppm. Nesta escola, as salas de aula possuem ventilação cruzada e atendem diferentes níveis de ensino; as salas que atendem alunos de séries iniciais localizam-se na parte interna da escola, voltadas para o pátio, onde há algumas árvores que produzem sombreamento.

Em salas de aula da escola 3, a concentração máxima de CO₂ foi de 698,00 ppm; e a mínima, de 496,00 ppm. Algumas salas desta escola possuem ventilação cruzada e outras não. No monitoramento em salas que possuem ventilação cruzada e estão localizadas lateralmente à avenida Deliberto da Costa, de grande circulação de veículos leves e pesados, ocorreram os maiores valores de concentração de CO₂.

As salas de aula da escola 4 apresentaram os valores máximos de 982,0 ppm para concentração de CO₂. As salas de aula desta escola possuem ventilação cruzada; porém, em algumas, as janelas são voltadas para um muro alto e próximas à avenida principal do bairro, com movimento de veículos e transporte público.

As salas de professores apresentaram mais elevada concentração de CO₂ em relação a todos os ambientes investigados. Na escola 4, assim como em nos outros monitorados, a concentração deste gás foi superior diante das outras escolas, cuja média foi de 668,2 ppm. As salas de professores apresentaram a média de concentração bem semelhante: de 583,3 ppm na escola 1; 579,0 ppm na escola 2; e 589,5 ppm na escola 3. As menores concentrações foram mensuradas na escola 1. Na escola 3, a sala dos professores é a mais ampla dentre as escolas monitoradas e a máxima concentração foi de 747,0 ppm.

As salas de professores possuem diferentes dimensões, em atendimento à necessidade de cada escola. Nas salas de professores, as concentrações de CO₂ mais elevadas foram medidas na escola 4, e os menores valores foram na escola 1. Nas escolas 1 e 2, as salas de professores

estão instaladas ao lado das secretarias, próximas à entrada da escola. As máximas concentração de CO₂, nestas escolas, foram respectivamente 856,0 ppm e 773,0 ppm.

A sala dos professores da escola 4 foi a que apresentou a mais elevada concentração de CO₂: de 1180,0 ppm. Foi esta a maior concentração observada em todo o monitoramento para todos os ambientes. A alta concentração ultrapassa o valor recomendado pela RE 09/03, da ANVISA. O alto valor pode ser atribuído à presença de usuários neste ambiente durante a medição (COMIN, 2012; MESQUITA; ARAÚJO, 2016; LUCIANO, 2015).

Foi também na escola 4 onde ocorreu a mais alta concentração de CO₂ na secretaria escolar, em relação às demais, cuja média é de 613,3 ppm. Nas secretarias das demais escolas, as médias mantiveram o comportamento semelhante aos outros ambientes, com médias de 579,1 ppm na escola 1; na escola 2, de 559,3 ppm; e na escola 3, de 572,4 ppm.

As secretarias escolares localizam-se próximas à entrada nas quatro escolas monitoradas e possuem diferentes dimensões, assim como as salas de professores.

Na escola 1, durante o funcionamento, a secretaria faz uso de condicionadores de ar, por isso as portas e janelas permanecem fechadas. A concentração máxima de CO₂, durante o monitoramento, na secretaria da escola 1 foi 785,0 ppm. A secretaria da escola 2 possui sistema de ventilação cruzada, está localizada próxima à avenida com grande circulação de veículos e obteve a concentração máxima de CO₂ de 616,0 ppm. Na escola 3, a secretaria obteve a concentração máxima de CO₂ de 664,0 ppm; este ambiente conta com ventilação cruzada na maior parte do tempo, permanecendo com as janelas abertas, e é localizada na parte frontal da edificação não adjacente à avenida.

O ambiente onde funciona a secretaria na escola 4 possui um tamanho reduzido, comparado às outras três escolas. Além disso, possui apenas uma janela, e a máxima concentração de CO₂, entre as secretarias, ocorreu nesta escola (926,0 ppm).

Para as concentrações máximas observadas durante as campanhas de coleta de dados, a escola 4 permaneceu com os mais elevados valores em todos os ambientes, quando comparados com as demais escolas. A unidade escolar localiza-se junto à avenida principal do bairro e, no momento da abertura, há intensa circulação de veículos.

Analisando a dinâmica temporal de CO₂, por escola, verifica-se que, na escola 1, as concentrações aumentaram no decorrer das campanhas: os menores valores foram encontrados na campanha 1, aumentando nas duas campanhas seguintes; e os maiores na campanha 4,

diminuindo na campanha posterior e voltando a se elevar na última campanha. Na escola 2, as concentrações de CO₂ repetiram o comportamento ocorrido da escola 1. Na escola 3, as menores concentrações ocorreram durante as duas primeiras campanhas, obtendo os picos de concentração na campanha seguinte, diminuindo na penúltima campanha e voltando a se elevar na última campanha. Na escola 4, houve as maiores concentrações de CO₂ e também as maiores oscilações durante as campanhas: os valores obtidos na primeira campanha foram diminutos nas duas seguintes; na quarta campanha, observam-se as maiores concentrações, decaindo na campanha seguinte; e as menores concentrações foram observadas na última campanha.

A dinâmica temporal, por escola, pode ser visualizada na Figura 56, na qual a linha vermelha destaca os limites recomendados pela RE 09/2003 - ANVISA, que determina os valores máximos recomendáveis para conforto e bem-estar, menores ou iguais a 1000 ppm. Com base na DIN EN 13779:2004, os valores menores ou iguais a 400 ppm, destacado pela linha verde, correspondem a qualidade do ar “especial”. Os valores entre 400 e 600 ppm correspondem a “alta” qualidade do ar, entre as linhas verde e amarela. Os valores entre 600 e 1000 ppm correspondem a “média” qualidade do ar, destacado entre as linhas amarela e vermelha. Os valores acima de 1000 ppm correspondem a “baixa” qualidade do ar, acima da linha vermelha.

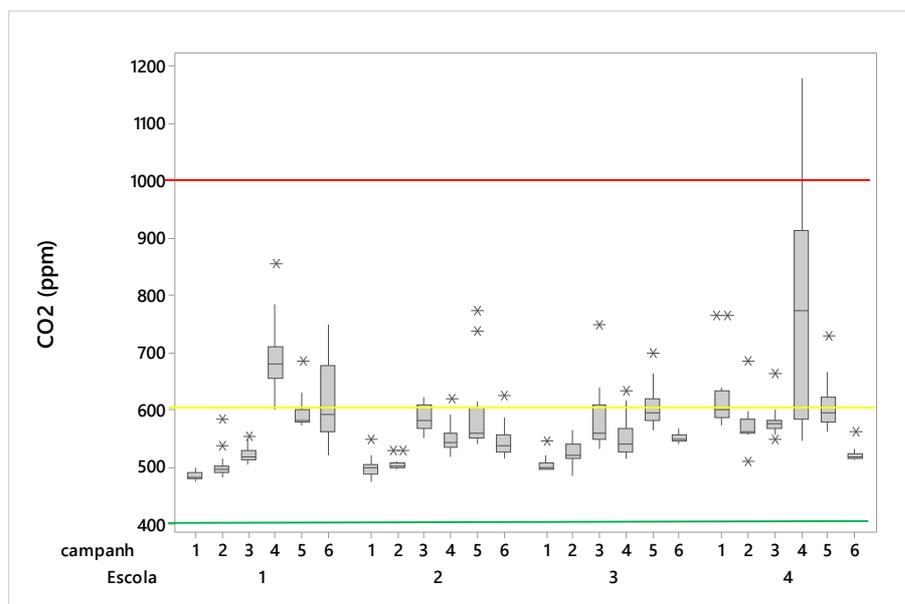


Figura 56 - Boxplot da dinâmica de CO₂ (ppm) nas escolas em estudo

Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar a Figura 56, com relação à RE 09/2003 - ANVISA, os resultados foram satisfatórios. Pode-se dizer que, na maioria das medições de CO₂, a qualidade do ar esteve entre “média” (entre 600 e 1000 ppm) e “alta” (entre 400 e 600 ppm), segundo a norma alemã DIN EN 13799. Para visualização do comportamento desta variável, a Figura 57 apresenta os dados obtidos por campanha e por escola, e demonstra a evolução da concentração de CO₂ por coleta.

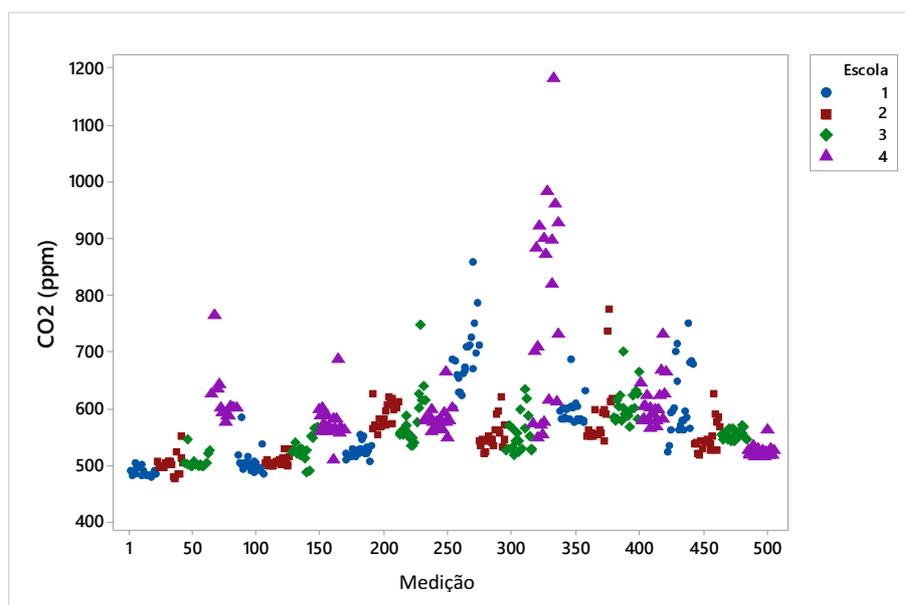


Figura 57 - Concentração de CO₂ (ppm) por medição durante cada coleta de dados

Fonte: Elaborado pela autora

As mais elevadas concentrações foram verificadas na escola 4, assim como a maior oscilação entre os dados. Os valores mais elevados foram observados na terceira e na quarta campanha, que ocorreram nos meses de março e maio, o que pode ter como influência a sazonalidade. Nas escolas onde ambientes se encontram adjacentes a avenidas, foram verificados os mais altos valores e oscilação de dados. De acordo com Avigo Júnior (2008), o trânsito do local interfere na qualidade do ar das escolas.

As concentrações de CO₂ encontram-se em níveis recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA (ANVISA, 2003), que determina que os valores máximos recomendáveis para concentração de CO₂ sejam inferiores a 1000 ppm, com apenas uma exceção ultrapassada em uma medição. Tais concentrações são bons indicadores de renovação de ar, do conforto e bem-estar dos ocupantes do ambiente interno.

5.3.5 Concentração de CO₂ com instrumentos instalados em diferentes alturas

As medições realizadas a partir da segunda campanha em diferentes alturas em relação ao piso (primeiro a 1,5 metro de altura do chão e, posteriormente, a 0,90 metro) mostraram que o comportamento dos dados de concentração de CO₂ foram semelhantes, conforme ilustra a Figura 58, com valores muito próximos, tratando-se da altura de instalação dos instrumentos de medição.

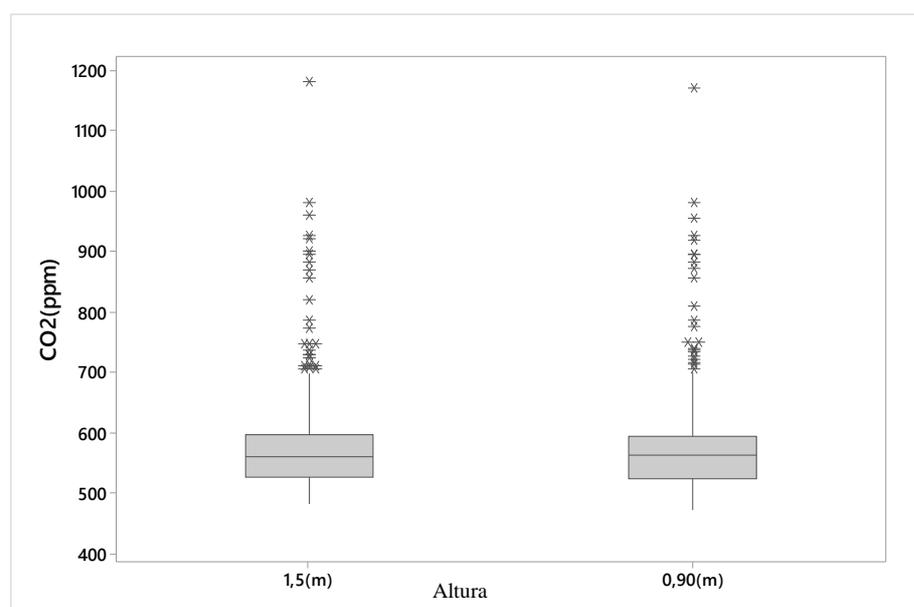


Figura 58 - Boxplot de concentração de CO₂ (ppm) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)

Fonte: Elaborado pela autora

A distribuição dos dados se apresenta bastante semelhante. O teste Tukey demonstra não haver diferença entre as médias de concentração de CO₂ nas diferentes alturas medidas, e o resumo dos dados de estatística descritiva confirma a semelhança entre os resultados, conforme a Tabela 15. Para evitar que os dados espúrios influenciem as análises, optou-se pela remoção.

Tabela 15 - Estatística descritiva e teste Tukey de dióxido de carbono (CO₂) em diferentes alturas

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo	Tukey
CO ₂ (ppm) em 1,5 m	561,50	44,97	484,00	556,00	706,00	A
CO ₂ (ppm) em 0,9 m	559,39	46,29	472,00	555,00	701,00	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de CO₂. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Apesar da semelhança entre os dados de concentração de CO₂ e dos instrumentos instalados em diferentes alturas, o gráfico de intervalos da Figura 59 ilustra que, com os instrumentos instalados à altura de 0,90 m, a concentração medida esteve infimamente inferior em relação à altura de 1,5 m, indicando a renovação do ar interior, uma vez que CO₂ é um gás denso em relação ao ar atmosférico, tendendo a ser mais pesado e ter concentração maior próximo ao solo.

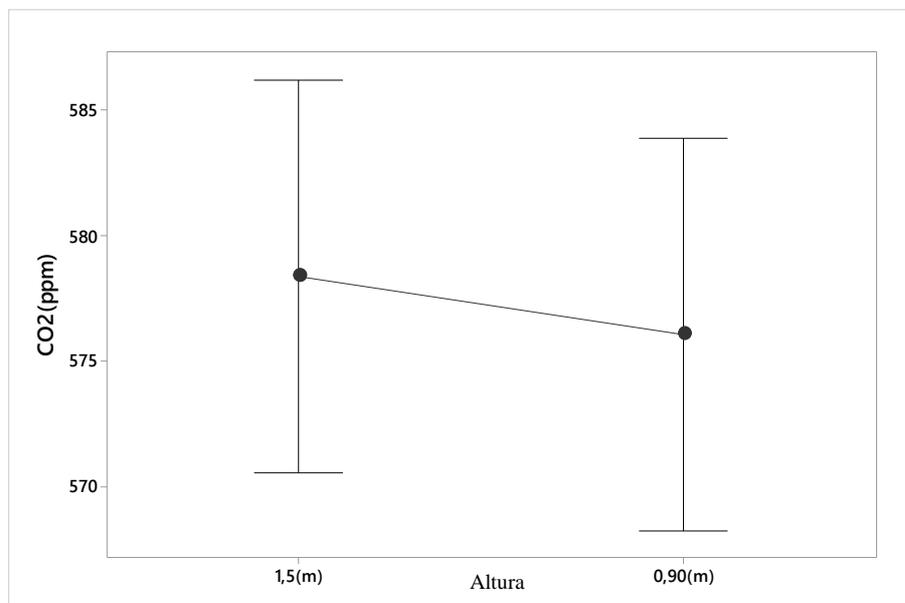


Figura 59 - Gráfico de intervalos de CO₂ (ppm) em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)

Fonte: Elaborado pela autora

5.4 CONCENTRAÇÃO DE FORMALDEÍDO

Em todos os ambientes, assim como no estudo de Sofuoglu *et al.* (2011), durante as coletas de dados, o gás formaldeído esteve presente. Segundo Breginski (2015) e Schirmer *et al.* (2011), o formaldeído é o poluente que ocorre em maior frequência nas atmosferas interiores. Os dados obtidos na medição desta variável abrangem ampla diversidade de valores. O gráfico da Figura 60 mostra a distribuição dos dados de H₂CO, com assimetria à direita, e muitos valores discrepantes, variando de 0,01 ppm a 1,020 ppm. O alto valor de desvio padrão, mostrado na Tabela 3, mais elevado que o valor da média, confirma a amplitude de variação dos dados de concentração de H₂CO nas escolas objeto de estudo, no município de Cuiabá-MT.

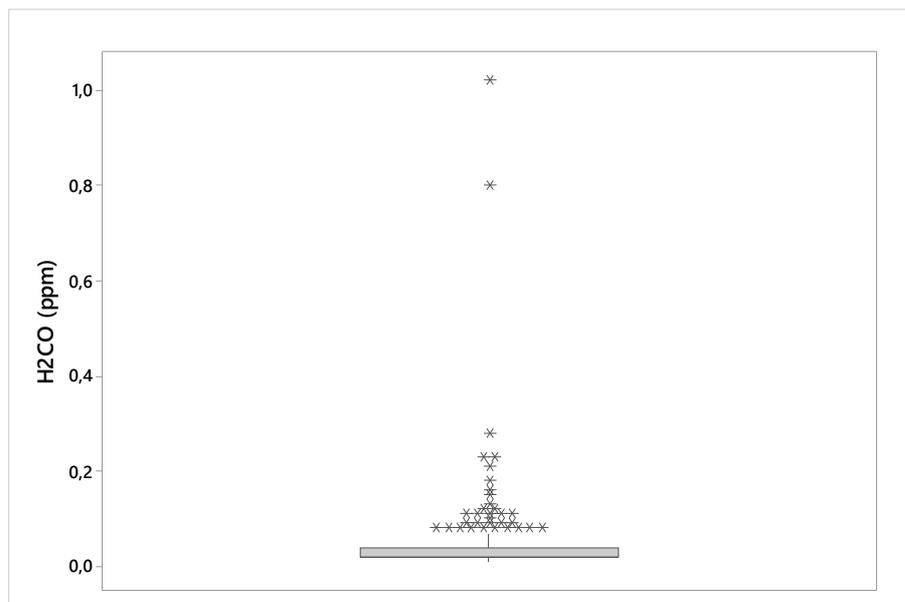


Figura 60 - Boxplot da concentração de H₂CO em ppm

Fonte: Elaborado pela autora

5.4.1 Concentração de H₂CO nas escolas em estudo durante estações de chuva e seca

Assim como ocorre com outros poluentes, pode haver variação das concentrações de H₂CO em função de diferentes sazonalidades (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010; GOMES, 2014). Para verificar o comportamento das concentrações deste gás no ambiente interno das escolas, neste estudo, durante estações de chuva e estiagem, o gráfico de boxplot da Figura 61 apresenta a distribuição dos dados, demonstrando a existência de muitos dados no limite superior do boxplot na estação de chuva, e um comportamento assimétrico durante essas coletas. As concentrações variaram de 0,01 ppm a 0,23 ppm, nessa estação. O mesmo ocorreu na estação de seca, com concentrações variando entre 0,01 ppm e 1,02 ppm.

Durante a estação de estiagem, observa-se a redução de valores superiores aos limites superior do boxplot. Porém, é também no período de estiagem em que se encontra a maior amplitude de variação entre as concentrações mínimas e máximas de H₂CO.

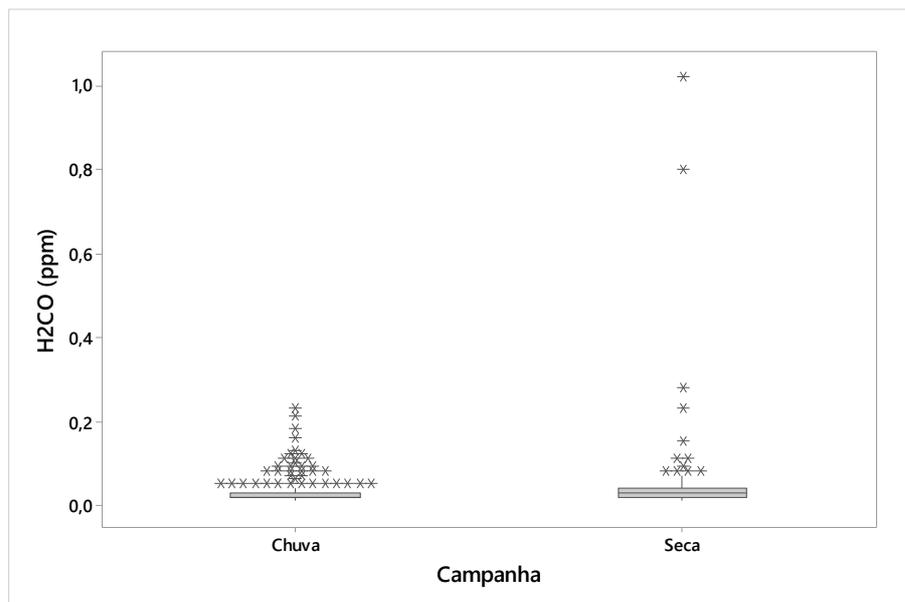


Figura 61 - Boxplot da concentração de H₂CO (ppm) em diferentes estações sazonais

Fonte: Elaborado pela autora

A mediana de concentração de H₂CO nas estações teve valores aproximados de 0,02 ppm na estação chuvosa e 0,03 ppm na estação de seca. A análise de variância e o teste Tukey entre as médias, apresentados na Tabela 16, demonstram não haver diferença significativa estatisticamente entre as médias por sazonalidade, entretanto houve oscilação de dados. Para não haver influência por dados espúrios, optou-se pela remoção nesta análise.

Tabela 16 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de formaldeído (H₂CO) entre as estações sazonais (chuva e seca)

H ₂ CO (ppm)				
Estação	N	Média	DesvPad	Tukey
Chuva	205	0,02561	0,01585	A
Seca	236	0,02919	0,01733	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de H₂CO. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

A concentração de H₂CO, assim como aconteceu com o CO₂, apresentou maior variação entre os resultados durante a estação de seca, corroborando com os estudos de Wonho (2009) e Sofuoglu (2011). Os resultados diferem dos encontrados por Gomes (2014) em estudos em escolas do Rio de Janeiro, nos quais se verificou variação entre a sazonalidade e a concentração de poluentes, como o formaldeído, encontrando no inverno as menores concentrações.

5.4.2 Correlação entre temperatura do ar, umidade relativa do ar e CO₂ com a concentração de H₂CO

A correlação entre as variáveis temperatura do ar e H₂CO foi baixa ($r= 0,035$), sem significância estatística ($p> 0,447$), indicando irrelevância estatística. Assim os correspondentes coeficientes de correlação devem ser desconsiderados. A correlação entre as duas variáveis é ilustrada através do gráfico de dispersão da Figura 62.

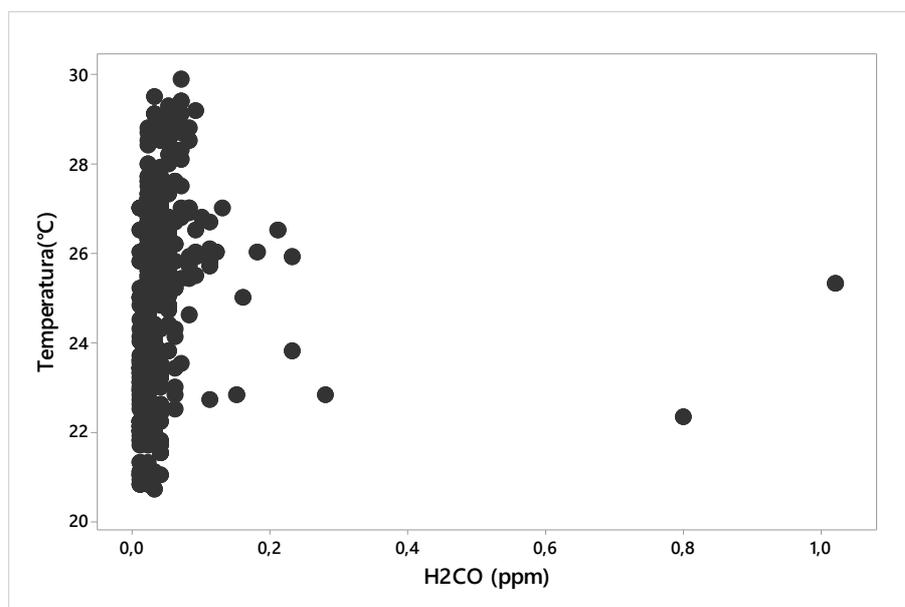


Figura 62 - Gráfico de dispersão de temperatura (°C) versus H₂CO (ppm)

Fonte: Elaborado pela autora

A correlação entre as variáveis da umidade relativa do ar é ilustrada no gráfico da Figura 63, foi desprezível com $r= 0,007$ sem significância estatística ($p> 0,112$), indicando assim como a variável temperatura que tem irrelevância estatística na correlação para essas duas variáveis, logo os correspondentes coeficientes de correlação também devem ser desconsiderados. Os resultados diferem de Salthammer, Mentese e Marutzky (2010), que descrevem que a emissão de formaldeído é maior com o aumento da umidade relativa do ar.

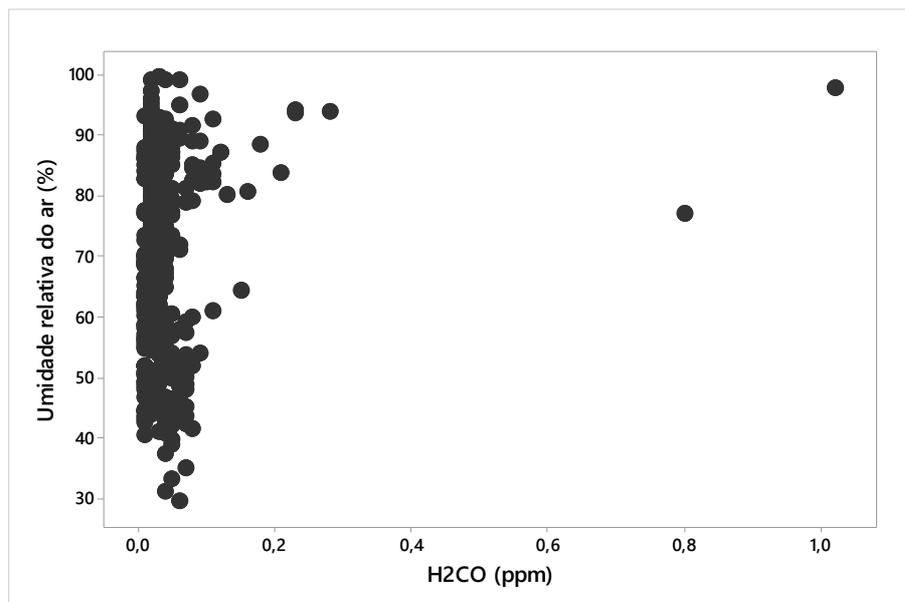


Figura 63 - Gráfico de dispersão de umidade relativa do ar *versus* H₂CO (ppm)

Fonte: Elaborado pela autora

A correlação entre as variáveis de concentração de CO₂ e H₂CO foi fraca, com $r=0,275$ e sem significância estatística ($p=0,00$), indicando assim que não há correlação entre as duas variáveis. O gráfico de dispersão da Figura 64 apresenta os dados pareados de CO₂ e H₂CO.

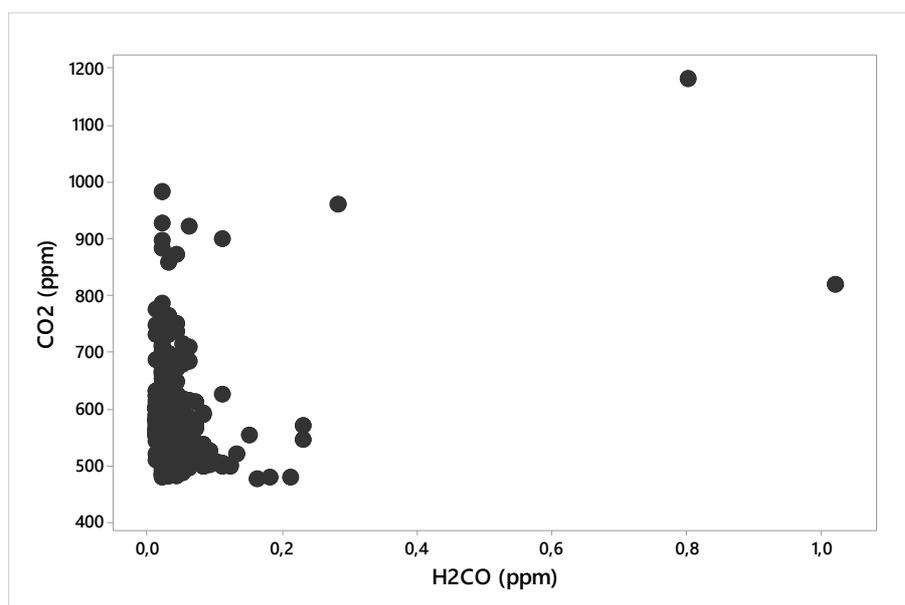


Figura 64 - Gráfico de dispersão de CO₂ *versus* H₂CO (ppm)

Fonte: Elaborado pela autora

5.4.3 Concentração de H₂CO em diferentes tipos de ventilação

O tipo de ventilação em um ambiente pode exercer influência na concentração de gases atmosféricos em ambientes internos, e os valores medidos de H₂CO apresentaram bastante oscilação. Com o propósito de ilustrar se há diferenças entre os valores encontrados com o tipo de ventilação, os dados são apresentados na Figura 65, com o ambiente fechado (V1), com ar-condicionado ligado (V2) e com o ambiente aberto e ventilação natural (V3).

Jean *et al.* (2012) relatam que a presença de um sistema de ventilação mecânica foi significante correlacionado a níveis mais baixos de formaldeído. No estudo, 25% da variação na concentração de formaldeído interior foram explicados por essa característica.

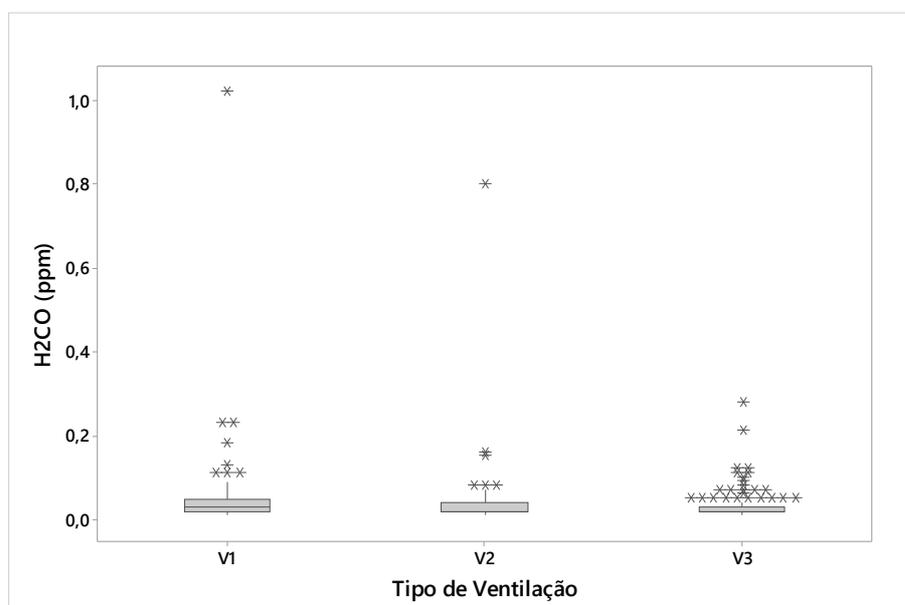


Figura 65 - Boxplot da concentração de H₂CO (ppm) com uso de diferentes tipos de ventilação

Fonte: Elaborado pela autora

As mais elevadas concentrações de H₂CO foram identificadas com os ambientes fechados no momento de abertura das escolas, após terem permanecido fechadas por todo o fim de semana. As concentrações diminuem quando ligados os climatizadores de ar, reduzindo-se ainda mais com a abertura de portas e janelas, havendo assim a renovação do ar. O comportamento dos dados, com a presença de muitos valores nos limites superiores dos boxplot, pode ser influenciado pela presença de materiais contidos em cada ambiente e pelas características de cada local.

Através de análise de variância e do teste Tukey apresentados na Tabela 17, cujos valores atípicos foram descartados para não influenciar os resultados, podem-se observar diferenças significativas entre concentrações médias de H₂CO, de acordo com o tipo de ventilação.

Tabela 17 - Análise de variância (ANOVA) e teste Tukey nos dados de formaldeído (H₂CO) com uso de diferentes tipos de ventilação

H₂CO (ppm)				
Tipo de ventilação	N	Média	DesvPad	Tukey
V1	158	0,03469	0,01958	A
V2	138	0,02681	0,01435	B
V3	168	0,02109	0,008451	C

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de H₂CO. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

5.4.4 Dinâmica de concentração de H₂CO nas escolas objeto de estudo

No estudo, partindo do pressuposto de igualdade entre as escolas por suas semelhantes características e por pertencerem ao mesmo município, houve diferenças em relação aos resultados para os dados de concentração de H₂CO. Por isso, optou-se por realizar a análise espacial dos resultados de forma individual por escola, comparando os ambientes com as atividades semelhantes. Em conjunto, é apresentada também a análise temporal dos resultados, com o propósito de verificar a dinâmica temporal deste gás e as possíveis causas da variação de concentrações.

As concentrações de H₂CO encontradas durante as campanhas de dados oscilaram entre as escolas. A possível causa é que, em cada uma das escolas, as obras haviam se encerrado em distintas datas. Assim pode haver diferença entre as concentrações deste gás por tipologia de ambientes e de acordo com o tempo de finalização das obras. Ainda após a entrega das obras e o funcionamento em plenitude das escolas, ocorreram reparos em alguns ambientes, o que é normal em obras recentemente entregues.

Na Tabela 18, são apresentadas as análises das principais estatísticas descritivas por escola e, através da análise de variância, é conferida a diferença significativa entre as médias das concentrações de H₂CO nas escolas monitoradas. Para esta análise, foram retirados os dados espúrios com a finalidade de que estes não comprometessem a análise estatística.

Tabela 18 –Estatística descritiva e teste Tukey nos dados de formaldeído (H₂CO) entre as diferentes escolas objeto de estudo

Escola	N	H ₂ CO (ppm)						Tukey
		Média	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo	DesvPad	
1	126	0,02744	50,47	0,010	0,02000	0,07000	0,01385	B
2	126	0,03269	64,30	0,010	0,02000	0,09000	0,02102	B A
3	112	0,024158	41,50	0,010	0,020000	0,050000	0,010027	B
4	117	0,02852	54,62	0,010	0,02000	0,07000	0,01558	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de H₂CO. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados demonstram que a localização pode justificar as diferentes concentrações, assim como as características construtivas e de materiais existentes em cada uma delas. Os mais elevados valores de concentração de H₂CO podem ocorrer após obras de construção civil (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010).

Na escola 1, foram encontradas as menores médias de concentrações de H₂CO. A obra, nesta escola, havia se encerrado com antecedência de seis meses ao início das coletas de dados. Na escola 2, pode-se observar um aumento significativo em relação à média da escola 1. A obra, nesta escola, encerrou-se cinco meses antes do início da coleta de dados, todavia, nesta unidade, ocorreram diversos reparos após o encerramento das obras, sobretudo em pisos, onde foram aplicadas resinas; e em revestimentos, que foram substituídos. O alto valor de desvio padrão em relação à média nesta escola indica a existência de oscilação entre os valores de concentração de H₂CO. Os mais elevados valores de concentração de H₂CO, nesta escola, foram verificados em data posteriores aos reparos.

Nas escolas 3 e 4, as obras encerraram no mês de dezembro do ano de 2016, ou seja, posteriormente ao início da coleta de dados. Logo, nas duas escolas, as obras de construção civil são mais recentes em relação às demais.

O maior valor obtido para H₂CO ocorreu na escola 4, no início da estiagem, e após ocorrerem reparos na escola. O valor de desvio padrão deste parâmetro em relação à média na escola 4 indica a oscilação entre os dados. Os dados variam entre a menor concentração de 0,01 ppm e a máxima concentração de 1,02 ppm. O boxplot da Figura 66 possibilita a visualização da distribuição de dados das concentrações de H₂CO medidas e os vários valores atípicos por escola.

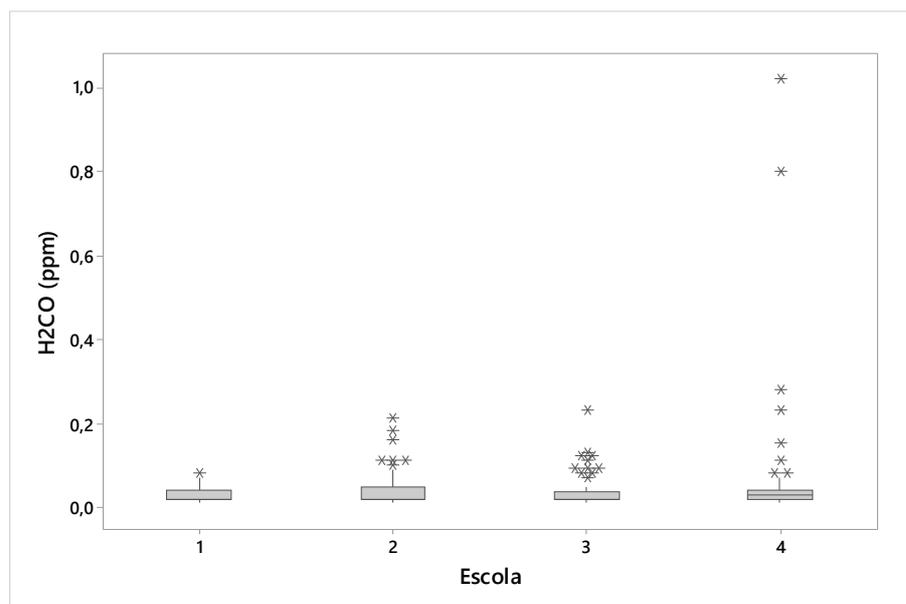


Figura 66 - Boxplot da concentração de H₂CO (ppm) nas escolas objeto de estudo

Fonte: Elaborado pela autora

A distribuição dos dados obtidos por escola apresenta assimetria com apenas um ponto discrepante: o limite superior, na escola 1, que ocorreu em uma sala de aula com ambiente fechado, no momento de abertura da escola. As demais escolas possuem um grande número de valores discrepantes, que podem ter influência pelos materiais construtivos e mobiliários contidos em cada local.

Diversos estudos demonstram a influência dos diferentes materiais construtivos e mobiliários, ligados a diferentes concentrações de H₂CO (SODRÉ, 2006; WONHO *et al.*, 2009; FADEYI *et al.*, 2014; POULHET *et al.*, 2014; SOFUOGLU *et al.*, 2011; BREGINSKI, 2015).

Tais concentrações podem diminuir com o uso de ventilação adequada, pois altas concentrações deste poluentes, em diferentes locais, são associadas a tipos de ventilação (ALVES; ACIOLE, 2012; LEE; CHANG, 2000; SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010; WONHO *et al.*, 2009; YANG *et al.*, 2015.). Para verificar as diferentes concentrações de H₂CO por escola em estudo, de acordo com o tipo de ventilação, o gráfico da Figura 67 apresenta os valores máximos obtidos de acordo com os diferentes tipos de ventilação: ambiente fechado (V1), ambiente climatizado (V2) e ambiente com ventilação natural (V3).

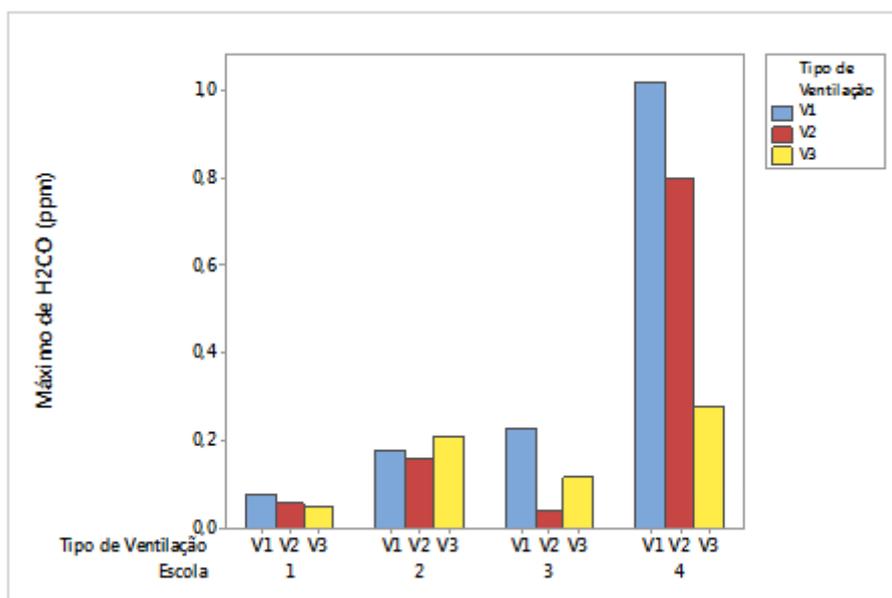


Figura 67 - Gráfico de máximas concentrações de H₂CO (ppm) com uso de diferentes ventilações
Fonte: Elaborado pela autora

Nas escolas 1, 3 e 4, os máximos valores para formaldeído foram verificados com os ambientes fechados; apenas na escola 2, as máximas concentrações ocorreram com o uso de ventilação natural. Durante as coletas, os maiores valores foram medidos após os ambientes permanecerem fechados por todo o fim de semana, diminuindo após o uso de climatização. As concentrações atenuaram expressivamente nas escolas 1 e 4 após os ambientes serem totalmente abertos. Tais resultados remetem ao fato de que a ventilação pode remover ou diluir poluentes gerados no ambiente interno (SEPPANEN; FISCK, 2004 apud JEAN et al., 2012).

As diferenças de concentração de H₂CO com os maiores valores obtidos com ambientes fechados podem ser devido aos materiais construtivos e mobiliários contidos em cada ambiente. O teste Tukey, em conjunto com o resumo das principais estatísticas descritivas, está apresentado na Tabela 19. Os valores espúrios foram removidos para evitar a influência, mostrando diferença significativa entre as médias de H₂CO, em se tratando de tipologia de ambiente.

Tabela 19 – Estatística descritiva e teste Tukey de dados de formaldeído (H₂CO) entre diferentes ambientes

Ambiente	H ₂ CO (ppm)						Tukey
	Média	CoefVar	Mínimo	Mediana	Máximo	DesvPad	
Sala de aula	0,0228	43,95	0,010	0,020	0,05	0,010020	B
Biblioteca	0,0328	56,00	0,010	0,030	0,09	0,01836	A
Sala dos professores	0,0294	51,13	0,010	0,030	0,07	0,1501	A
Secretaria	0,0314	48,41	0,010	0,030	0,07	0,01519	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de H₂CO. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Nas salas de aula, as médias de concentração de H₂CO foram inferiores se comparadas aos outros ambientes. Durante as atividades rotineiras nestes ambientes, o sistema de ventilação cruzada favorece a constante renovação do ar. Na rotina diária, em diversos momentos, as salas de aula permanecem totalmente abertas, recebendo ventilação natural, e são também utilizados ventiladores mecânicos, associados à abertura das janelas, não permanecendo apenas fechadas sob uso de climatizadores de ar. As menores concentrações médias podem ser explicadas, também, pelos materiais contidos nestes ambientes em relação aos demais.

As bibliotecas permanecem, a maior parte do tempo, com portas e janelas fechadas. A abertura de portas e janelas compromete o silêncio necessário para o desenvolvimento das atividades cotidianas desses recintos. Ao mesmo tempo, nesses locais, há materiais que podem ser emissores de H₂CO, como prateleiras em MDF para acomodação de livros e demais materiais didáticos e decorativos. A presença, nestes ambientes, de concentrações médias moderadamente mais elevadas de H₂CO em relação às salas de aula pode se justificar por tais fatores. Outro importante elemento é o tamanho dos ambientes, pois cada escola se adapta à necessidade de ocupação em atendimento ao número de alunos. Na presente investigação, em cada escola, a média das concentrações de H₂CO nas bibliotecas é distinta.

Nas salas de professores, as concentrações médias de H₂CO apresentaram diferença significativa em relação aos demais ambientes. Nesse tipo de ambiente, foram verificadas as maiores oscilações entre os dados coletados. A provável causa para essas diferenças pode residir na presença de equipamentos, como computadores e armários em MDF. Além disso, esses ambientes, quando em utilização, na maior parte do tempo, têm o tipo de ventilação ambiente

por climatizadores de ar, e as portas e janelas permanecem fechadas, com pouca renovação do ar.

Nas secretarias escolares das quatro escolas monitoradas, as concentrações de H₂CO tiveram pouca oscilação em relação aos outros ambientes. As secretarias escolares possuem diferentes dimensionamentos em cada escola, porém os materiais contidos nelas são bastantes semelhantes.

Para a análise das concentrações verificadas nos diferentes locais, o gráfico da Figura 68 ilustra a comparação das médias para cada ambiente em relação às quatro diferentes escolas.

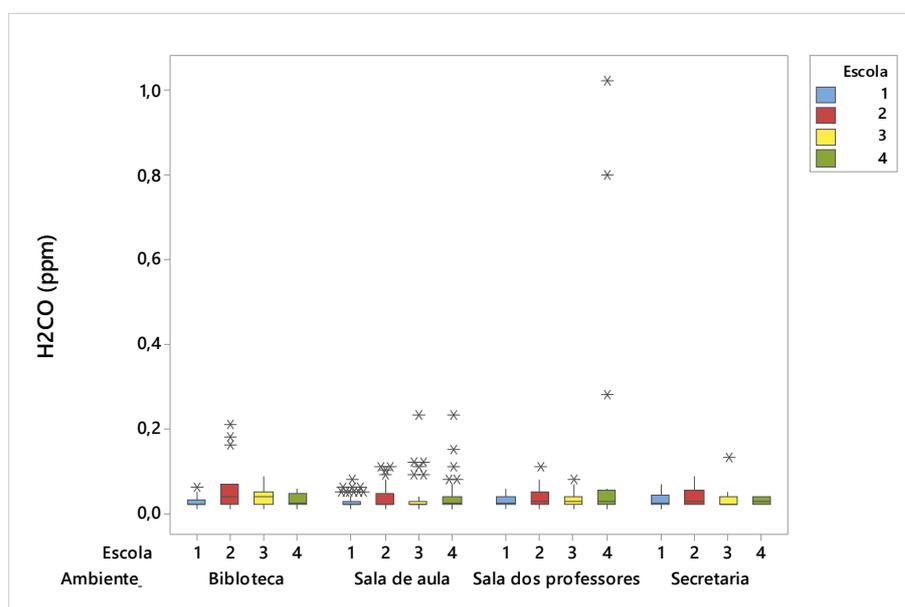


Figura 68 - Boxplot da concentração de H₂CO (ppm) nos diferentes ambientes objeto de estudo
Fonte: Elaborado pela autora

Nas bibliotecas, as menores concentrações verificadas foram de 0,01 ppm em todas as escolas. As mais elevadas concentrações nas escolas 1 e 4 foram de 0,06 ppm, com amplitude de 0,05 ppm. Na escola 2, a biblioteca apresentou a maior concentração de H₂CO, frente às demais escolas, chegando a 0,21 ppm, com a amplitude de 0,20 ppm. Essa concentração foi registrada logo após o piso da área próxima à biblioteca ter recebido reparo e aplicação de resina selante. A escola 3 obteve a concentração máxima de 0,090 ppm do gás em sua biblioteca, com amplitude de 0,080 ppm.

Em salas de aula, as concentrações máximas encontradas foram de 0,23 ppm nas escolas 3 e 4, com amplitude de 0,22 ppm em ambas. Nas escolas 1 e 2, as maiores concentrações de H₂CO foram de 0,080 ppm e 0,11 ppm, respectivamente, com amplitude de 0,07 ppm na escola

1, e de 0,10 ppm na escola 2. As menores concentrações encontradas foram de 0,01 em todas as salas de aulas das quatro escolas.

Nas quatro escolas, os valores mínimos de concentração de H_2CO encontrados foram de 0,01 ppm nas salas de professores, os quais apresentaram maiores oscilações de concentração desse gás. As mais elevadas concentrações foram de 0,06 ppm na escola 1; de 0,11 ppm na escola 2; e de 0,08 ppm, na escola 03, com amplitude de 0,05 ppm, 0,10 ppm e 0,07 ppm, respectivamente. A máxima concentração obtida para H_2CO em todos os ambientes foi na sala dos professores da escola 4, com 1,02 ppm, que também obteve a maior amplitude de concentração deste gás: 1,01 ppm. Tal concentração foi encontrada durante a quarta campanha de coleta de dados, durante a estiagem. Acredita-se que tal elevação se deu em virtude dos materiais nela contidos. Embora as atividades desenvolvidas em salas de professores não difiram entre as escolas, estas possuem tamanhos distintos, e a quantidade de materiais contidos é adequada às necessidades de cada escola. Durante sua utilização, essas salas permanecem fechadas com uso de ar-condicionado, com pouca renovação de ar.

Na secretaria da escola 1, a menor concentração de H_2CO foi 0,01 ppm; e a máxima concentração, de 0,060 ppm, tendo por amplitude 0,05 ppm. As escolas 2, 3 e 4 obtiveram as concentrações mínimas de 0,02 ppm. Na escola 2, a amplitude neste ambiente foi de 0,070 ppm, com a máxima concentração obtida de 0,090 ppm. Na escola 3, a secretaria apresentou a mais elevada concentração perante as demais escolas: 0,11 ppm. Por fim, a secretaria da escola 4 foi a que apresentou menor amplitude de concentração de H_2CO durante as campanhas de coleta de dados: 0,02 ppm, com a maior concentração de 0,04 ppm.

Ao fazer análise da dinâmica temporal de H_2CO por escola, verifica-se que, na escola 1, as concentrações encontradas na primeira campanha tiveram ligeiro aumento na segunda e se mantiveram nas duas campanhas seguintes, com queda na quinta campanha, voltando a se elevar na sexta e última campanha. Na escola 2, as concentrações de H_2CO tiveram as maiores concentrações na primeira campanha, reduzindo nas três campanhas seguintes e voltando a se elevar nas duas últimas. Na escola 3, as maiores concentrações foram verificadas na primeira campanha, decaindo nas campanhas seguintes e mantendo os valores nas próximas. Na escola 4, ocorreram maiores oscilações e foram medidas as maiores concentrações de H_2CO durante as campanhas; os valores obtidos na primeira campanha foram os mais elevados, diminutos nas duas seguintes; na quarta campanha, observam-se as maiores concentrações, decaindo na

campanha seguinte e voltando a se elevar na última campanha. A dinâmica temporal de H_2CO , por escola, pode ser visualizada no gráfico da Figura 69.

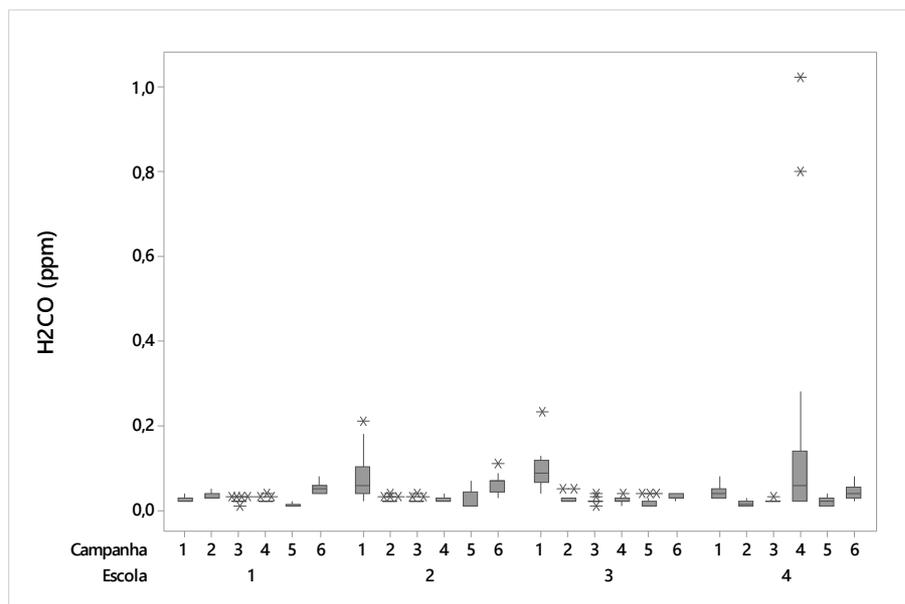


Figura 69 - Boxplot da dinâmica de H_2CO (ppm) nas escolas durante as campanhas de coleta de dados
Fonte: Elaborado pela autora

Para melhor visualização do comportamento desta variável, o gráfico da Figura 70 apresenta os dados obtidos distribuídos por campanha e por escola, e demonstra a evolução da concentração de H_2CO por coleta.

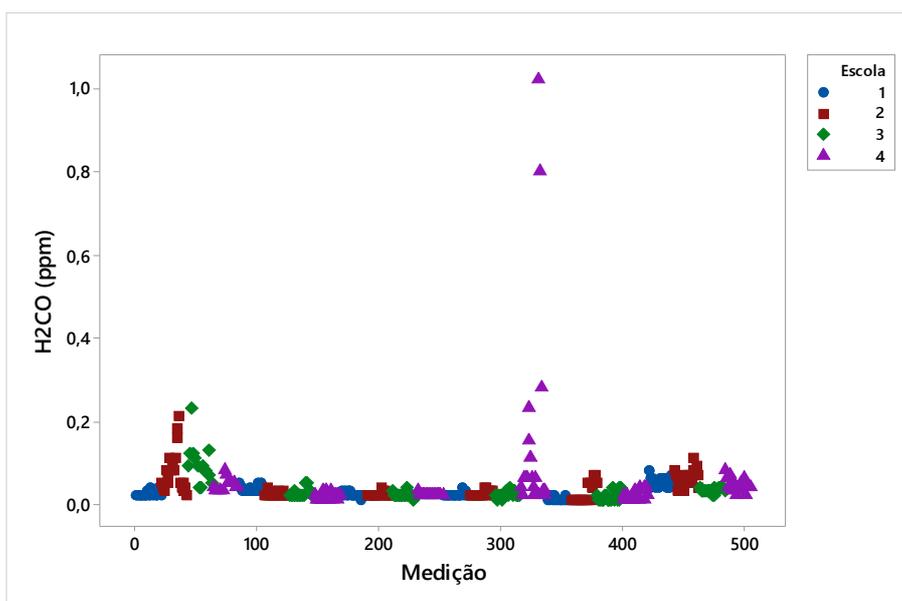


Figura 70 - Concentração de H_2CO (ppm) durante cada coleta de dados
Fonte: Elaborada pela autora

Os valores mais elevados foram observados em escolas cujas construções são mais recentes ou quando posteriores a reparos ocorridos nas unidades, corroborando diversos estudos que associam valores mais elevados de H₂CO a obras de construção civil, como os de Kalimeri *et al.* (2016), Yang *et al.* (2015) e Wonho *et al.* (2009).

Os valores encontrados nos diferentes tipos de ambiente podem ser justificados pelos materiais construtivos e mobiliários contidos nos ambientes internos, pois materiais de acabamento são descritos, por vários autores, como as principais fontes de emissão de H₂CO (WONHO *et al.*, 2009; GIODA; AQUINO NETO, 2003; SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010; BREGINSKI, 2015; KALIMERI *et al.*, 2016).

A concentração de H₂CO, verificada durante as coletas de dados, encontra-se acima dos limites recomendados por diversas organizações ambientais, que estabelecem os limites de concentração em países como Alemanha e Reino Unido, de 100 µg/m³ (BREGINSKI, 2015); Austrália e Suécia, de 0,08 ppm (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010), Canadá (DALES *et al.*, 2008) e Coreia, com limite de exposição de 0,1 ppm (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010). A agência ambiental portuguesa recomenda que as concentrações máximas de H₂CO para obtenção de certificado de qualidade do ar interior seja de 0,80 ppm (AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2009), valor que também é adotado pela Organização Mundial de Saúde.

No Brasil, a ausência de legislação específica para emissão máxima de formaldeído por materiais construtivos e mobiliários fabricados no Brasil dificulta o controle deste poluente em ambientes internos. Além disso, é necessária a implementação de legislações e normas mais restritivas para monitoramento ambiental, referente à qualidade do ar interior em ambientes internos.

Também seria importante rever a NR 15 quanto aos valores máximos de exposição no ambiente de trabalho para 48 horas de semanais. Poderia ser adotado o valor da Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) de 0,25 mg/m³ de exposição de longo prazo, e de 0,5mg/m³ para exposição a curto prazo, como sugerido por Breginski (2015).

5.4.5 Concentração de H₂CO com instrumentos instalados em diferentes alturas

Assim como ocorreu com as outras variáveis, nas medições realizadas em sequência para cada ambiente, com as diferentes alturas (primeiro a 1,5 metro de altura do chão e, posteriormente, a 0,90 metro), as concentrações medidas de H₂CO tiveram valores bastante aproximados e comportamento semelhante, conforme ilustra o gráfico da Figura 71.

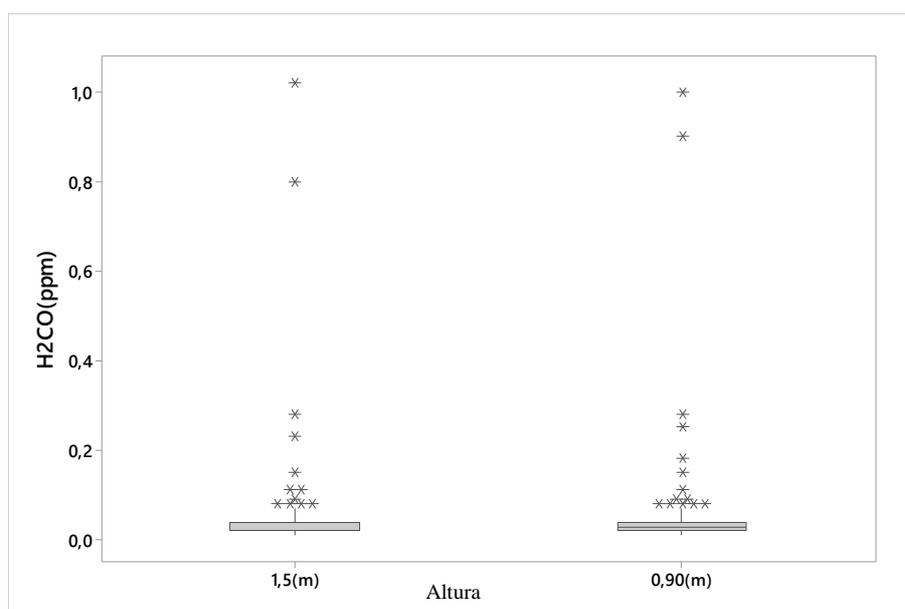


Figura 71 - Boxplot de concentração de H₂CO (ppm) em diferentes alturas (1,5 m e 0,90 m)

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando os dados de estatística descritiva de concentração de H₂CO e o teste Tukey na Tabela 20, são confirmadas a proximidade de valores medidos nas duas alturas e a ausência de diferença significativa entre as médias de concentração deste gás. Para esta análise, para não interferir nos resultados, os dados espúrios foram descartados.

Tabela 20 –Estatística descritiva e teste Tukey de H₂CO (ppm) em alturas diferentes

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo	Tukey
H ₂ CO (ppm) em 1,5 m	0,026709	0,014597	0,01000	0,02000	0,07	A
H ₂ CO (ppm) em 0,9 m	0,029523	0,015057	0,01000	0,03000	0,08	A

A, B, C: Representam as comparações realizadas entre as médias de concentração de H₂CO. Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes; e iguais, igualdade entre as médias.

Fonte: Elaborado pela autora

Embora exista semelhança entre os dados de concentração de H₂CO com os instrumentos instalados em diferentes alturas, o gráfico de intervalos da Figura 72 ilustra que,

com os instrumentos instalados à altura de 0,90 m, a concentração medida esteve fracamente superior em relação à altura de 1,5 m, o que pode ter por influência a maior proximidade de possíveis fontes de emissão deste gás, tais como mobiliário e resinas contidas no piso.

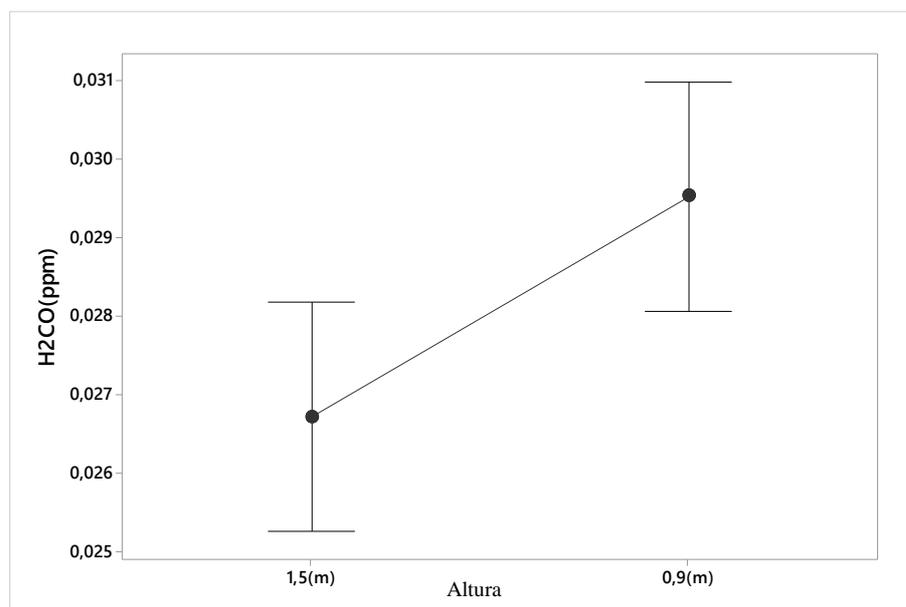


Figura 72 - Gráfico de intervalo H₂CO (ppm) em 1,5 m e 0,90 m (IC de 95% das médias)

Fonte: Elaborado pela autora

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes investigados, por diversas vezes, estiveram muito acima dos valores máximos recomendados pela RE 09/2003, da ANVISA. Esses parâmetros se inserem no presente estudo para verificar a influência destes sobre a concentração dos gases dióxido de carbono e formaldeído.

Os resultados foram satisfatórios para concentração de CO₂ durante as coletas de dados, com apenas uma única medição, em que a concentração deste gás esteve acima do valor máximo recomendado pela RE 09/2003, da ANVISA. As concentrações apresentaram maior variação entre os dados obtidos durante a estação de seca, assim como maiores valores medidos em relação à estação chuvosa.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis CO₂ e temperatura foram fracos e negativos, com significância estatística baixa, indicando fraca tendência de que, com o aumento da temperatura, sejam verificadas baixas concentrações e vice-versa. A correlação entre as variáveis CO₂ e umidade relativa do ar foi muito baixa, porém positiva, mas sem significância estatística, mostrando não haver influência na concentração de CO₂ pelo índice de umidade relativa do ar.

De acordo com o tipo de ventilação, foram encontradas diferenças nas concentrações de CO₂, as quais, com os ambientes abertos, foram mais elevadas em relação a ambientes fechados. As maiores concentrações de CO₂ foram verificadas com a ventilação natural, em se comparando com a ventilação artificial (ares-condicionados). Apesar da disparidade, a análise dos dados demonstra a ausência de diferença significativa entre as concentrações médias de CO₂ em relação aos tipos de ventilação. Os dados medidos de concentração de dióxido de carbono confirmam as informações contidas em diversos estudos em relação à influência da ventilação.

Houve diferença significativa entre as médias da concentração de CO₂ entre a escola 4 (região sul) e as demais. Nesta escola, foram observadas as maiores concentrações de CO₂ e também as maiores oscilações durante as campanhas. Vale ressaltar que a obra de construção civil desta escola é mais recente em relação às escolas 1 e 2.

Verificou-se que os ambientes que se encontram adjacentes a avenidas apresentaram valores mais elevados de concentração de CO₂. O ambiente sala de professores apresentou as maiores concentrações de CO₂ em relação às salas de aulas, bibliotecas e secretarias.

Durante a coleta de dados, ocorreu pouca oscilação de dados de CO₂ no decorrer das campanhas: os menores valores foram verificados nas primeiras campanhas; os valores mais elevados foram observados na terceira e na quarta campanha, que ocorreram nos meses de março e maio, o que pode ter como influência a sazonalidade.

Em todas as coletas de dados, foram encontradas concentrações de H₂CO. Os dados obtidos na medição desta variável, neste estudo, abrangem ampla diversidade de valores. A concentração de H₂CO, na estação de chuvas, apresentou o comportamento assimétrico com elevado número de valores discrepantes durante as coletas. A concentração de H₂CO, assim como aconteceu com o CO₂, apresentou maior variação entre os resultados, durante a estação de seca, com redução de valores superiores atípicos; porém, é também no período de estiagem que se encontra a maior amplitude de variação entre as concentrações mínimas e máximas de H₂CO.

A correlação entre as variáveis temperatura e H₂CO foi baixa e sem significância estatística. A correlação entre as variáveis umidade relativa do ar e H₂CO foi desprezível, sem significância estatística; e a correlação entre as variáveis de concentração de CO₂ e H₂CO indica que não há correlação entre as variáveis.

As mais elevadas concentrações de H₂CO foram identificadas em ambientes fechados, no momento de abertura das escolas, após terem permanecido todo o fim de semana fechados. As concentrações diminuem quando ligados os climatizadores de ar, reduzindo-se ainda mais com a abertura de portas e janelas, havendo assim a renovação do ar, recebendo ventilação natural. As análises estatísticas demonstram a ausência de diferença significativa entre concentrações médias de H₂CO por tipo de ventilação.

A análise de variância entre as médias das concentrações de H₂CO apresenta diferença significativa entre as escolas monitoradas, demonstrando que a localização, as características construtivas e de materiais existentes podem ter influenciado as diferentes concentrações em cada uma delas. Durante as coletas de dados para concentrações de H₂CO, os maiores valores nas escolas foram verificados onde as obras são mais recentes, ou quando posteriores a reparos

ocorridos nas unidades. Na escola 4, houve as maiores concentrações de H_2CO e também as maiores oscilações durante as campanhas.

Os valores mais elevados de H_2CO nas primeiras campanhas diminuíram nas campanhas seguintes, com exceção da escola 4, que, na quarta campanha, apresentou os mais elevados valores. Desse modo, os resultados indicam que os maiores valores podem ser atribuídos à influência das obras de construção civil, e que tais concentrações podem ser oriundas dos materiais contidos no interior dos ambientes. As medições de formaldeído corroboram os estudos apresentados na revisão de literatura, em relação às maiores concentrações em ambientes que passaram por obras de construção civil recentemente. As concentrações voltaram a aumentar nas duas últimas campanhas, assim como ocorreu com as concentrações de CO_2 , o que demonstra que as concentrações de H_2CO sofrem influência pela sazonalidade.

Apesar de não haver diferenças estatisticamente significativas nos valores dos parâmetros medidos com os instrumentos instalados em diferentes alturas, os resultados mostraram que, em diferentes alturas, podem ocorrer sutis diferenças que podem causar a proximidade com fontes de emissão, no caso de H_2CO ; ou com a densidade do ar, no caso de temperatura e CO_2 .

6.1 RECOMENDAÇÕES

O estudo demonstrou, através de resultado das medições, que medidas simples podem minimizar a presença do gás formaldeído em ambientes internos após obras de construção civil, como o uso de ventilação natural. Por isso, recomenda-se que portas e janelas permaneçam abertas o maior tempo possível antes do início das atividades nos ambientes escolares. Tal ação deve ocorrer prioritariamente nos primeiros meses após obras de construção civil.

Uma importante medida a ser tomada é a substituição de materiais construtivos e mobiliários que contenham grande quantidade de colas e resinas, por outros que emitam menos formaldeído.

Independentemente dos resultados das medições ou dos experimentos, fica clara a necessidade de elaboração de legislação específica para valores máximos de exposição ao formaldeído no Brasil (BREGINSKI, 2015).

Em relação ao dióxido de carbono, neste estudo, os dados obtidos foram bastante satisfatórios, porém os ambientes próximos a avenidas apresentaram maiores valores medidos. Por isso, a sugestão é que a posição de portas e janelas em ambientes adjacentes a avenidas seja projetada pensando em renovação constante, evitando posicioná-las em local que favoreça a entrada de gases poluentes emitidos por veículos no entorno das edificações.

Os ambientes que permanecem fechados por prolongado período de tempo e sob ocupação, a exemplo de salas de professores, apresentam maiores concentrações de dióxido de carbono. Portanto a sugestão, assim como no caso de formaldeído, é permanecer com o ambiente naturalmente ventilado na maior parte do tempo possível. Uma opção de baixo custo é a instalação de exaustores tipo grelha para favorecer a saída de gases presentes em ambientes internos.

Algumas lacunas a serem preenchidas por pesquisas científicas futuras restam ao final deste estudo:

- Pesquisa de emissão de formaldeído por materiais construtivos através de sistemas ativos de medição;
- Estudo da emissão de CO₂ por equipamentos de ar-condicionado;
- Estudo da presença de contaminantes decorrente do transporte de fungos e bactérias;
- Estudo da dinâmica de concentração de gases em ambientes internos, com instalação de sistemas de exaustão;
- Estudo aplicado em escolas situadas em locais mais adensados, dentro e fora dos ambientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6401 NB 10**: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros Básicos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

_____. **NBR 16401-1**. Instalações de Ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários, Parte 1: Projeto das Instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR ISO 9000:2005**. Norma Brasileira – Sistema de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABREU, C.F.C. **Ambiente Interior e a Saúde dos Ocupantes de Edifícios de Habitação**. 2010. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade da Beira Interior Covilhã, 2010.

ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices**. 6th edition. Cincinnati-Ohio: ACGIH, 1991.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **O que é qualidade do ar?** Base de dados online sobre a qualidade do ar. Portugal, 2009. Disponível em: <<http://qualar.apambiente.pt/index.php?page=5&subpage=3>>. Acesso em: 20 Nov. 2016.

AKROM. **Instrumentos eletrônicos**. São Leopoldo – RS: 2016.

ALMEIDA, S.; et al. Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 40, p. 7594-7599, 2011.

ALVES, C. A.; ACIOLE, S. D. G. Formaldeído em escolas: uma revisão. **Quim. Nova**, v.35, n.10, p.2025-2039, 2012.

ALVES, R. **Avaliação da qualidade do ar em escolas fundamentais da cidade de Colombo através de material particulado em suspensão e sua relação com a indústria local de cal**. 2009. 166 fl. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Positivo. Curitiba, 2009.

ANSES - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. **Les valeurs limites atmosphériques pour les agents chimiques en milieu professionnel**. 2015.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 9 de 16 de Janeiro de 2003**, qualidade do ar ambiental interior. ANVISA, 2003.

ARAQUAN, P. B. **Avaliação da qualidade do ar interno de ambientes climatizados de bibliotecas públicas da cidade do Recife – PE**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2008.

ARAÚJO, V.S.; CARMO JÚNIOR, G. N. da R. Formaldeído e a qualidade do ar interior em ambientes escolares. In: **4º Encontro de Engenharia de Edificações e Ambiental**. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá (MT): EEEA, 2016. Disponível em: <<http://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeeea2016/paper/viewFile/6070/246>>. Acesso em: 22 jan.. 2016.

ASHRAE. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE Standard 55, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning, Atlanta, 4, 2004.

AVIGO JÚNIOR, D. **Qualidade do ar em escolas de Curitiba**. 2008. 136 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Positivo. Curitiba, 2008.

BARTLETT, K.H; et al. Evaluation and a predictive model of airborne fungal concentration in school classrooms .**The Annals of Occupation Hygiene**, v.48, n.6, p.547-554, 2004.

BASTO, J. E. **Requisitos para Garantia da Qualidade do Ar em Ambientes Climatizados Enfoque em Ambientes Hospitalares**. 2005. 110f. Monografia (Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

BELO, C.A.V.F. **Avaliação da Exposição Profissional ao Formaldeído e Xileno no Serviço de Anatomia Patológica dos Hospitais da Universidade de Coimbra**. 2011, 120 fl. Dissertação (Mestrado em Saúde Ocupacional) - Faculdade de Medicina, Universidade de Coimbra. Coimbra, 2011.

BERNSTEIN, J. A. Health effects of air pollution. **J. Allergy. Clin. Immunol**, v.114, n.5, p.1116-1123, 2004.

BLONDEAU, P.; et al. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. **Indoor Air**, v. 15, n. 1, p. 2-12, 2005.

BLUYSSSEN, P.M. Towards an integrative approach of improving indoor air quality. **Building and Environment**, v.44, n.9 p.1980-1989, 2009.

_____. The role of flooring materials in health, comfort and performance of children in classrooms. **Cogent Psychology**, v. 3, n. 1, p. 1268774, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional do Câncer (INCA). **Formol ou Formaldeído**. 2016. Disponível em: <www1.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=795>. Acesso em: 10 Jun. 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 005**. Brasília, 1989.

_____. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 3**, de 28 de junho de 1990. 1990.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 15 Nov. 2016.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 15**, de 08 de junho de 1978. 1978.

BREGINSKI, H. D. B. **Qualidade do ar**: estudo sobre a presença de formaldeído. 2015, 124fl. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Curitiba, 2015.

BRICKUS, L.S.R; AQUINO NETO, F.R. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 65-74, 1999.

CAIXETA, D. S.; et al. Monitoramento da Qualidade do Ar Interior de uma Escola da Rede Pública Localizada no Município de Cuiabá-MT. **Engineering and Science**, v.5, n.1, p.20-28, 2006.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do ar interno**. Texto técnico. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1999.

CARVALHO, M.H.A. **Avaliação da qualidade do ar interior em ambientes acadêmicos**: um estudo de caso. 2016. 122fl. Dissertação (Mestrado profissional em gestão pública). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2016.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Revisão dos padrões de qualidade do ar e aprimoramento da gestão integrada da qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2010. 17 p.

_____. **Qualidade do ar. Padrões**. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.mtc.asp>. Acesso em: 21 Nov. 2016.

CHALOULAKOU, A.; MAVROIDIS, I. Comparison of indoor and outdoor concentrations of CO at a public school. Evaluation of an indoor air quality model. **Atmospheric Environment**, v. 36, n. 11, p. 1769-1781, 2002.

COMIN, T. **Monitoramento ambiental em uma escola da cidade de São Carlos – SP**: ênfase em qualidade do ar interior. 2012. 166fl. Dissertação Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Ciências e Tecnologias – UFSC. São Carlos/SP, 2012.

COUTINHO FILHO, E. F.; et al. **Avaliação do conforto ambiental em uma escola municipal de João Pessoa**. 2006. Disponível em: <<http://www.prac.ufpb.br/anais/IXEnex/extensao/documentos/anais/5.MEIOAMBIENTE/5CTDEPPEX01.pdf>>. Acesso em: 25 Set. 2016.

DALES, R.; et al. Public health: Quality of indoor residential air and health. **Canadian Medical Association Journal**, v.179, n.2, p. 147-152, 2008.

DASCALAKI, E. G.; SERMPETZOGLOU, V. G. Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 2, p. 718-727, 2011.

DE GIULI, V.; DA POS, O.; DE CARLI, M.. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. **Building and Environment**, v. 56, p. 335-345, 2012.

DE PAULA, C.E.E. **Química Técnica: Leveduras e bolores**. 2016. Disponível em: <<http://quimicatecnica.blogspot.com.br/search/label/LEVEDURAS%20E%20BOLORES>>. Acesso em: 21 Nov. 2016

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Why Indoor Air Quality is Important to Schools**. 1990. Disponível em: <www.epa.gov/iaq-schools/why-indoor-air-quality-important-schools>. Acesso em: 15 Ago.2016

EPA. **Indoor Air Quality Tools for Schools – Reference Guide**. EPA – U.S. Environmental Protection Agency. 2009.

FADEYI, M. O.; et al. Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools' classrooms in the United Arab Emirates. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 2, p. 166-177, 2014.

FDE - Fundação para o Desenvolvimento da Educação. **Estruturas pré- Fabricadas: Arquitetura Escolar Paulista**. São Paulo: FDE / Diretoria de Obras e Serviços, 2006.

_____. **Memorial descritivo e especificações técnicas – Projeto espaço educativo rural e urbano 6 Salas de aula**. Brasília: FDE, 2005.

FERREIRA, A.M.C; CARDOSO, S.M. Estudo exploratório da qualidade do ar em escolas de educação básica, Coimbra, Portugal. **Rev Saúde Pública**, v.47, n.6, p.1059-68, 2013.

FRAGA, S.; et al. Indoor air Quality and symptoms in Porto schools. **Revista Portuguesa de Pneumologia**, v.14, n.4, p. 487-507, 2008.

FUOCO, F. C.; et al. Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Italian Classrooms. **Atmosphere**, v. 6, n. 11, p. 1652-1675, 2015.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, v.26, n.03, set./out.2003.

_____. Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não-industriais no Brasil: uma abordagem comparativa. **Cad Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.19, n.5, p.1389-1397, 2003.

GODWIN, C; BATTERMAN, S. Indoor air quality in Michigan schools **Indoor air**, v. 17, n. 2, p. 109-121, 2007.

GOMES, M. M.; CORRÊA, S. M. Avaliação de carbonilas na atmosfera interior e exterior de salas de aula de escolas públicas. In: **I Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente**. Niterói: 2013, p. 596-605

GOMES, M.M. **Avaliação das carbonilas interiores e exteriores a atmosfera das salas de aula públicas**. 2014. 86fl. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GONÇALVES JUNIOR, S.J. **Avaliação da participação de material particulado e seus impactos à saúde humana em escolas próximas a vias de tráfego veicular e refinaria de petróleo**. 2014. 95fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná. Paraná: 2014.

GOOGLE EARTH. Google Earth Pro. **Versão 7.1.5.1557X**. 2016. Nota (Área de estudo). Image©2016 Digital Globe. Landsat. Ano da imagem 2016..

_____. Google Earth Pro. **Versão 7.1.5.1557X**. 2016. Nota (localização das escolas). Image©2016 Digital Globe. Landsat. Ano da imagem 2016.

HEUDORF, U.; NEITZERTB, V.; SPARK, J. Particulate matter and carbon dioxide in classrooms – The impact of cleaning and ventilation. International. **Journal of hygiene and Environmental Health**, n.212, p. 45–55, Jan 2009.

IARC - International Agency for Research on Cancer. **Classifies Formaldehyde as Carcinogenic to Humans**. 1995. Disponível em: <<http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2004/pr153.html>>. Acesso em: 6 Nov. 2016.

IBAMA - Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria normativa nº 348/IBAMA**, de 14 de Março de 1990. DOU 14/05/90. 1990.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2015**. Dados do Censo 2015. Consulta declarada em IBGE – Regional Mato Grosso, 2015.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Convencionais – Gráficos**. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf>. Acesso em: 05 jun. 2017.

ISO - International Organization For Standardization. **ISO 7726**: Ambientes térmicos - instrumentos e métodos para medição de quantidades físicas. Switzerland, 1998.

JASINSKI, R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L.F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. **Cad. Saúde Pública**, v.27, n.11, p.2242-2252, 2011.

JASSEN, N.A.H.; et al. Mass concentration and elemental composition of PM₁₀ in classroom. **Occupational and Environmental Medicine**, v.56, p. 482-487, 1999.

JEAN, M.S.T.; et al. Indoor air quality in Montréal area day-care centres, Canada. **Environmental Research**, v.118, p. 1-7, out. 2012.

KALIMERI, K. K.; et al. Indoor air quality investigation of the school environment and health risks estimated: Two-season measurements in primary schools in Kozani, Greece. **Atmospheric Pollution Research**. In Press, Corrected Proof — Note to users 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/scienc/article/pii/S1309104216300538>>. Acesso em: 20 Set. 2016.

KIM, J. L.; et al. Indoor molds, bacteria, microbial volatile organic compounds and plasticizers in schools – associations with asthma and respiratory symptoms in pupils. **Indoor Air**, Dinamarca, v. 17, n.2, p. 153-163, 2007.

LEE, S. C.; CHANG, M. Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong. **Chemosphere**, v. 41, n. 1, p. 109-113, 2000.

LEVÍTICO. **A Bíblia**: tradução ecumênica. São Paulo: Paulinas, 2002.

LUCIANO. A. M. S. **Qualidade do ar interno em ambientes de ensino climatizados: definição de limites ótimos de CO₂ para o Estado de Mato Grosso**. 2015, 100fl. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá/UNIC, Cuiabá: 2015.

MESQUITA, M. S.; ARAÚJO, F. M. Diagnóstico da qualidade do ar interno das edificações do campus da Unifor. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 27, n. 2, p. 163-170, dez. 2006.

MORAIS, G.; et al. Qualidade do ar interno em uma instituição de ensino superior brasileira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.26, n.2, p.305-310, 2010.

MUMOVIC, D.; et al. Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. **Building and Environment**, v. 44, Issue 7, p. 1466-1477, 2009.

NASCIMENTO, G. C. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos**: Salas de aula. 2008. 92 fl. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

NUNES, Z. G. **Estudo da Qualidade Microbiológica do Ar de Ambientes Internos Climatizados**. 2005. 163 f. Tese (Doutorado em Vigilância Sanitária) - Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Air quality guidelines for Europe**. 2 ed.. Copenhagen, 2000. 288 p.

PORTUGAL. **Qualidade do Ar em Espaços Interiores**. Um guia técnico. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Agência Portuguesa do Ambiente e Laboratório Referência do Ambiente, 2009.

POULHET, G.; et al. Investigation of formaldehyde sources in French schools using a passive flux sampler. **Building and Environment**, v. 71, p. 111-120, 2014.

RODRIGUES, B. F.; et al. Vírus influenza e o organismo humano. **Revista APS**, v.10, n.2, p. 210-216, jul.-dez. 2007.

ROSBACH, J. T.; et al. A ventilation intervention study in classrooms to improve indoor air quality: the FRESH study. **Environmental health**, v. 12, n. 1, p. 110, 2013.

SALGUEIRO, A. V. **Qualidade do Ar Interior Climatizado Artificialmente**. 2006. 59fl. Monografia - Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2006.

SALTHAMMER, T.; MENTESE, S.; MARUTZKY, R. Fomaldehyde in the indoor. Enviromente. American Chemical Society. **Chem Rev**, n. 110, v.4, p. 2536-2572, abr.2010.

SANTAMOURIS, M.; et al. Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 40, p.1833-1843, 2008.

SCHAEFFER, R.D. **Estudo e Desenvolvimento de um Sensor de CO₂ de Baixo Custo**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SCHIRMER, W. N.; et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, n.6, p.3583-3590, ago. 2011.

SHAUGHNESSY, U. H.; MOSCHANDREAS, D. J.; SHAUGHNESSY, R. J. Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. **Indoor Air**, Dinamarca, v. 21, n.2, p. 121-131, 2011.

SODRÉ, E. D. **Avaliação da qualidade do ar do interior de locais públicos –formaldeído, acetaldeído e acetona**. 2006. 99fl. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

SODRÉ, E. D.; et al. Principais carbonilas no ar de locais públicos no Rio de Janeiro. **Química Nova**, v.31, n. 2, p. 249-253, 2008.

SOFUOGLU, S.C.; et al. An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools. **Int. J. Environ. Health**, v.214, n.1, p.36-46, 2011.

SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. **Estação de Cuiabá - Climatologia Local**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2016. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/cuiaba_clima.html>. Acesso em: 17 Set. 2016.

TSI INCORPORATED. **Indoor Air Quality Hand Book A Practical Guide To Indoor Air Quality Investigations**. Minnesota, United States of America: 2013.

WHO - World Health Organization. **Indoor air pollutants: exposure and health effects**. Copenhagen, 1983. (Euro Reports and Studies, 78).

WICHMANN, J.; et al. PM 2.5, soot and NO₂ indoor-outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 36, p. 4536-4544, 2010.

WONHO, Y; et al. Indoor air quality investigation according to age of the school buildings in Korea. **Journal of Environmental Management**, v.90, p.348-354, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for Indoor Air quality: selected pollutants**. 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138705/>>. Acesso em: 26 set. 2016.

YANG, J.; et al. Characteristics of Indoor Air Quality At Urban Elementary Schools In Seoul, Korea: Assessment Of Effect Of Surrounding Environments. **Atmospheric Pollution Research**, v. 06, p.1113-1122, 2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015, 320p.

ZHANG, L.; et al. Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms. **Mutation Research**, v.681, p.150-168, 2009.

APÊNDICE

APÊNDICE 1

Exemplo do banco de dados. Aqui está representada apenas uma pequena parte do banco de dados devido à sua grande extensão.

Local: Escola 01	Endereço: Rua 1600, número 162- 222, bairro Jardim Imperial	Cidade: Cuiabá - MT	Data da coleta: 07/11/16	Equipamentos utilizados: Sensor- AR820 CO ₂ - AZ- 77535 Anemômetro: AKROM	Condições climáticas: Tempo parcialmente nublado, temperatura de 25,9°C UR 75% velocidade do vento: 0,1 m/s	Obs.: Choveu durante a madrugada anterior	
		Região: Leste	Horário de início: 05h50				
			Horário de término: 6h45				
Escola	Ambiente	Campanha	Velocidade do ar	Temperatura	Umidade	CO₂	H₂CO
1	1	3	V1	26,70	77,00	489,00	0,020
1	1	3	V2	26,00	68,50	481,00	0,020
1	1	3	V3	26,50	75,00	483,00	0,020
1	1	3	V1	27,00	75,00	501,00	0,020
1	1	3	V2	26,00	68,50	484,00	0,020
1	1	3	V3	26,00	76,00	493,00	0,020
1	1	3	V1	26,00	75,00	493,00	0,020
1	1	3	V2	25,00	55,00	494,00	0,020
1	1	3	V3	26,80	76,80	499,00	0,020
1	1	3	V1	26,30	78,00	481,00	0,030
1	1	3	V2	25,80	65,00	488,00	0,020
1	1	3	V3	26,20	77,80	483,00	0,020
1	2	3	V1	25,00	76,00	480,00	0,040
1	2	3	V2	23,00	51,00	480,00	0,030
1	2	3	V3	25,00	75,80	480,00	0,020
1	3	3	V1	27,20	77,00	480,00	0,030
1	3	3	V2	26,70	65,90	476,00	0,020
1	3	3	V3	27,00	75,40	482,00	0,020
1	4	3	V1	26,80	76,70	483,00	0,040
1	4	3	V2	26,00	69,00	489,00	0,030
1	4	3	V3	26,70	76,00	483,00	0,020