



MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E ACÚSTICO DE AMBIENTE INTERNO

Bárbara Mendes Violante⁽¹⁾, Paula de Freitas Rosa Remiro⁽²⁾, Ana Clara Alves Justi⁽³⁾, Mônica Lopes Aguiar⁽⁴⁾.

- 1- Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil
- 2- Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos - pdefreitasrosa@gmail.com
- 3- Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso
- 4- Professora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos

Recebido em: 06/04/2019 – Aprovado em: 10/06/2019 – Publicado em: 30/06/2019
DOI: 10.18677/EnciBio_2019A342

RESUMO

O monitoramento e gerenciamento da qualidade do ar em ambientes internos tem se tornado cada vez mais relevante, pois nestes locais as concentrações de poluentes podem ser ainda maiores do que em ambientes externos, devido a troca de ar ser diminuta. Assim, este estudo objetivou analisar a qualidade do ar, e os confortos térmico e acústico do Restaurante Universitário da Universidade Federal de São Carlos. Para isto, os seguintes parâmetros foram monitorados: material particulado (2,5 e 10 μm), temperatura e umidade relativa do ar, ruído, concentração de CO_2 e avaliação do conforto térmico. O ruído monitorado com um decibelímetro e os demais parâmetros com o amostrador EVM-7. Os resultados apontaram concentração de material particulado fora dos limites estabelecidos pela legislação Paulista vigente. Já a temperatura do ar atingiu valores inferiores ao limite mínimo de 20°C para inverno, enquanto a umidade relativa do ar excedeu os 65% aceito pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em nove das dez medições. Entretanto, o conforto térmico foi inadequado somente em dois dias de coleta. Nenhuma medida de CO_2 ultrapassou o limite de 1000 ppm especificado pela ANVISA. De forma contrária, todas as medições de ruído ficaram acima do valor máximo de 50 dBA recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desse modo, conclui-se que há necessidade de se tomar medidas mitigadoras, como por exemplo, aumentar a taxa de ventilação do local bem como promover um melhor isolamento acústico, para alcançar melhores indicadores e, conseqüentemente, fornecer uma boa qualidade do ambiente aos seus usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente interno, Conforto térmico, monitoramento.

MONITORING OF AIR QUALITY AND EVALUATION OF THE THERMAL AND ACOUSTIC COMFORT OF THE INTERNAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

Monitoring and management of indoor air have become increasingly relevant, since pollutant concentrations in these locations may be even higher than in outdoor environments due to small air exchange. Thus, this study aimed to analyze the air quality and the thermal and acoustic comforts of the University Restaurant of the Federal University of São Carlos. Then, the following parameters were monitored: particulate matter (2.5 and 10 μm), air temperature and relative humidity, noise, and CO_2 concentration. Those were used to evaluate thermal comfort. The noise was monitored with a decibel meter, and the remaining data were collected using the EVM-7 meter. The results showed a concentration of particulate matter outside the limits established by the current Paulista legislation. Already the air temperature reached values below the minimum limit of 20°C for winter, while the relative humidity exceeded 65% accepted by the National Agency of Sanitary Surveillance (ANVISA), in nine of ten measurements. However, thermal comfort was inadequate only in two days of collection. All CO_2 measurements exceeded the 1000 ppm limit specified by ANVISA. Conversely, all noise measurements were above the maximum 50 dBA recommended by the Brazilian Association of Technical Standards. In conclusion, there is a need to promote mitigating measures, such as increasing the ventilation rate and the improvement of acoustic insulation of the location. These measures aim to improve the indicators and, consequently, to provide a good quality of the environment to its users.

KEYWORDS: Monitoring, Internal environment, Thermal comfort.

INTRODUÇÃO

As pessoas gastam mais de 90% de sua vida diária em ambientes internos, seja dentro de escolas, universidades, casas e edifícios comerciais, industriais ou residenciais (DATTA et al., 2017). Logo, a qualidade do ar interior tornou-se uma questão importante no cenário mundial, pois o desenvolvimento tecnológico de janelas térmicas e a implementação de construções cada vez mais eficientes energeticamente, proporcionam ambientes vedados, que podem aumentar a concentração de poluentes (SPIRU : SIMONA, 2017).

Consequentemente, a saúde, o conforto e o desempenho de atividades mentais e físicas de usuários desses espaços são fortemente comprometidos (BRANCO et al., 2019), principalmente para os indivíduos pertencentes ao grupo de risco, que inclui, crianças, gestantes, idosos e portadores de doenças crônicas (GLOBAL HEALTH METRICS, 2017).

Os impactos devido à exposição da poluição do ar, são associados majoritariamente ao Material Particulado grosso, cujo o diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 μm (MP_{10}), ao Material Particulado fino, com o diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), ao Ozônio (O_3), ao Dióxido de Enxofre (SO_2), ao Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e ao Dióxido de Carbono (CO_2), sendo o MP_{10} , o $\text{MP}_{2,5}$ e o CO_2 mais amplamente abordados na literatura (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016; COMIN, 2016; COHEN et al., 2017; BUTT et al., 2017; LANDRIGAN et al., 2018; KOIVISTO et al., 2019; LEHTOMÄKI et al., 2018).

Isso porque, as concentrações de MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$ acima de 50 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, causam uma vasta gama de doenças alérgicas, respiratórias e

cardiovasculares (BROOK et al., 2010; THURSTON et al., 2017; GUXENS et al., 2018; BOWE et al., 2018), tanto a curto prazo (poucas horas a semanas) quanto a longo prazo (anos a décadas). Enquanto que, as concentrações de CO₂ acima de 1.000 ppm provocam tontura, dor de cabeça, náuseas e letargia (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE, 2001; DATTA et al., 2017; SIMANIC et al., 2019).

Diante do que foi exposto, os pesquisadores de São Carlos, interior do estado de São Paulo, entendem a importância da temática abordada e a necessidade da constância de estudos na área, evidenciando a cidade como um local de importantes investigações sobre a qualidade do ar de interiores, monitorando os seguintes ambientes: biblioteca universitária (ITO, 2007), universidade pública (NASCIMENTO, 2008), indústria de tintas e solventes (KAWAMOTO, 2011), biblioteca municipal (NASCIMENTO, 2011), escola pública de ensino fundamental e médio (COMIN, 2012), lojas de confecção têxtil (SCHORNOBAY, 2012), mercado municipal (ROTIROTI, 2013), diversas lojas de comércio (ALVES, 2013) ônibus do sistema de transporte público municipal (PEITER, 2014) laboratórios insalubres (ALVES et al., 2015) e salas de aula (COMIN, 2016).

Nessa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo dar continuidade às pesquisas do ramo, monitorando a qualidade do ar e avaliando o conforto térmico e acústico do restaurante da Universidade Federal de São Carlos, servindo de auxílio para a realização de pesquisas nos demais restaurantes e cidades do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

São Carlos, município do estado de São Paulo, localiza-se na região sudeste brasileira, à 21°30' e 22° 30' de latitude sul e 47°30'e 48°30' de longitude oeste, com altitude média inferior a 854 m acima do nível do mar. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, seu perfil climático é tropical de altitude, do tipo Caw, com duas estações representadas por chuvas na primavera-verão e por estiagem no outono-inverno (EMPRAPA, 2017).

A temperatura média máxima anual do ar em São Carlos varia 24,3 a 28,4°C e a média mínima anual, varia entre 12,1 a 18,7°C. Ao mesmo tempo que, a umidade relativa do ar tem a média anual de 81,5% na estação chuvosa, alcançando valores de 64,6% na estação de estiagem. Já a direção do vento é predominantemente leste durante a maior parte do ano, enquanto que, o total anual de precipitação pluviométrica é em torno de 1.362 mm (INPE, 2018).

A extensão do território são-carlense é de 1.136,907 km², com uma população estimada em 249.415 pessoas para o ano de 2018 (IBGE, 2018). Ademais, São Carlos abriga duas das melhores universidades do país, a Universidade de São Paulo (USP) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

A UFSCar atualmente é composta por quatro campus no interior do estado de São Paulo. O campus de São Carlos é o maior, foi fundado em 1968 às margens da Rodovia Washington Luís (Km 235, SP-310) e tem 645 hectares de extensão, sendo 105.000 m² de área construída, (Figura 1).

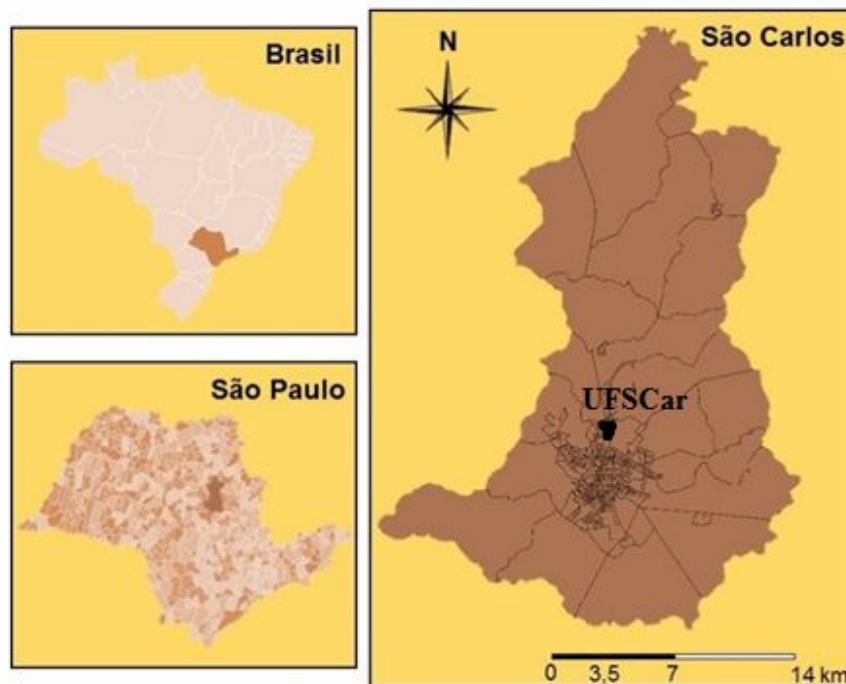


FIGURA 1 - Localização da UFSCar, São Carlos e São Paulo no território brasileiro

Todas as Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) do Brasil, desde 2010, dispõem de recursos que preveem verbas para subsidiar estudantes em vulnerabilidade socioeconômica, de forma a garantir sua permanência e diplomação (SANTOS, 2016).

No Decreto nº 7.234 da Constituição Federal, identifica-se a “alimentação” como atribuição da assistência estudantil. Portanto, as IFES têm um papel altamente relevante no desenvolvimento econômico e social do país e assim, desenvolvem diversas ações no apoio à comunidade acadêmica para difusão do conhecimento científico, sendo uma delas os restaurantes universitários (RU) (VARELA et al., 2015).

Dessa maneira, os RU's são estruturas fundamentais e presentes na parte construída de quaisquer IFES, pois fornecem refeições saudáveis e de baixo custo para estudantes, técnicos administrativos e demais integrantes da comunidade acadêmica. Na UFSCar, o RU foi fundado em 1979 e localiza-se em uma região estratégica, com maior presença de vegetação e ao centro das áreas sul e norte, (Figura 2).

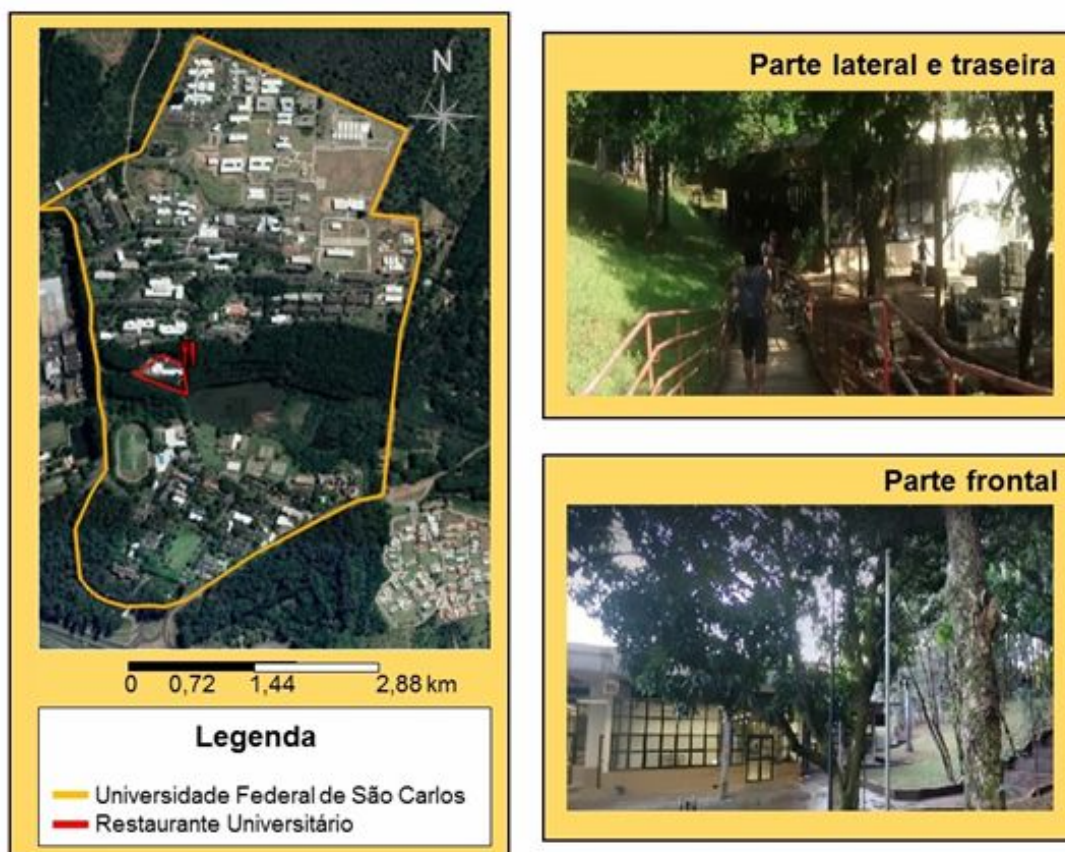


FIGURA 2 - Localização do restaurante universitário
Fonte: Adaptado de Google Earth, (2019)

Os números de refeições totais oferecidas em cada campus, nos anos de 2015, 2016 e 2017 estão apresentados na Tabela 1, considerando o funcionamento de segunda a sábado para o almoço e de segunda a sexta para o jantar.

TABELA 1 - Número de refeições servidas em cada campus da UFSCar

Campus	Ano de 2015	Ano de 2016	Ano de 2017
São Carlos*	564.086	730.136	850.502
Araras	79.669	94.367	104.019
Sorocaba	170.224	208.356	200.804
Lagoa do Sino	41.515	60.986	88.505
Total	885.494	1.093.845	1.243.830

*Local em que foram realizadas as coletas.

Fonte: UFSCar, 2018.

Observa-se que o número de refeições servidas anualmente no restaurante universitário é crescente a cada ano, tornando-se um fator significativo para a realização do monitoramento da qualidade do ar interior e do conforto térmico do local.

Procedimento experimental

O monitoramento ocorreu nos meses de junho e julho de 2017, nos horários de almoço e jantar, durante o período total de 10 dias não necessariamente consecutivos, já que se priorizou dias com maiores movimentações (Tabela 2).

TABELA 2 - Respectivos dias e datas de coleta

Dia	Horário	Data de coleta
1		26/06
2		27/06
3	Almoço	29/06
4		05/07
5		14/07
6		10/07
7		11/07
8	Jantar	12/07
9		13/07
10		14/07

Como o horário de funcionamento do restaurante é de 11:00 às 14:00 para o almoço e de 17:15 às 19:00 para o jantar, foram estabelecidas duas horas de monitoramento para ambos os horários. A Resolução nº 9/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), orienta que, para o monitoramento de interiores, quando a área construída possuir até 1.000 m² apenas um ponto amostral é necessário. Este deve estar localizado na altura de 1,5 m do piso, no centro do ambiente ou em zona ocupada. Por esta razão, as medições internas e externas seguiram a configuração apresentada nas Figuras 3-a) e 3-b).



FIGURA 3 - Configuração dos equipamentos de coleta (a) interno e (b) externo.

Pelas características do próprio ambiente de estudo, ou seja, acentuada movimentação de pessoas, suspensão de partículas oriundas do preparo de alimentos, aquecimento e refrigeração de comidas e amplificação sonora, estabeleceu-se para a coleta de dados, apenas os parâmetros Materiais Particulados grosso e fino (MP₁₀ e MP_{2,5}), Dióxido de Carbono (CO₂), temperatura do ar e umidade relativa do ar, além de medidas de ruído.

Os parâmetros MP_{10} e $MP_{2,5}$, CO_2 , temperatura do ar e umidade relativa do ar, foram obtidos por um coletor de partículas, modelo EVM-7/3M. Esse coletor consiste em um instrumento portátil indicado para o monitoramento de ambientes fechados, sendo capaz de monitorar simultaneamente todos os parâmetros mencionados, sob um sistema de filtração com taxa de vazão de 1,0 a 3,0 L/min, também recomendado pela RE/ANVISA nº 09/2003.

É importante destacar que o tempo de coleta para o CO_2 , a temperatura do ar e a umidade relativa do ar foi de 2 horas, enquanto que para o MP_{10} e $MP_{2,5}$ foi de 1 hora, pois o impactador do EVM só consegue medir uma configuração por vez. Dessa forma, todas as medições começaram primeiro na configuração de $MP_{2,5}$, durante 1 hora de coleta, seguida de mais 1 hora monitorando MP_{10} . Posteriormente os dados coletados foram descarregados em computador por meio do próprio *software* do equipamento.

Para as medidas de ruído, a NBR 10151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recomenda a utilização de medidor de nível de pressão sonora equivalente, ponderado em A, medido em dBA. Assim, utilizou-se o decibelímetro digital modelo DEC-490/Instrutherm, na faixa de medição de 30 a 130 decibéis, com os dados armazenados em dBA e posteriormente descarregados em computador utilizando o *software* do modelo DEC-490.

Análise dos dados

Para a interpretação dos dados de MP_{10} , $MP_{2,5}$, CO_2 , temperatura do ar, umidade relativa do ar e ruídos, utilizou-se como etapa inicial a estatística descritiva básica, que é uma ferramenta de análise disponível no Excel. Em seguida, para melhor visualização, os mesmos dados foram plotados em gráficos do tipo *boxplot*.

O *boxplot* (gráfico de caixa, também grafado como box-plot ou box plot) é um tipo de gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica de um conjunto de dados (ESTATCAMP, 2014), especialmente indicado quando há uma grande oscilação entre os valores, pois auxilia na visualização de uma distribuição assimétrica. Apresenta o intervalo dos 50% de valores centrais de um rol de dados, a mediana, a amplitude e os valores anômalos, fornecendo informações sobre a dispersão das medidas, apresentando os pontos extremos e valores denominados “*outliers*” (atípicos), (COMIN, 2016).

Além disso, com o intuito de aprimorar a discussão dos dados, os parâmetros temperatura do ar e umidade relativa do ar também foram submetidos à análise de conforto térmico e para tal finalidade, foi utilizado o diagrama de conforto humano oferecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O diagrama em questão é dividido em quatro zonas contrárias, que vão de muito frio ou muito quente e de muito úmido ou muito seco, definindo uma faixa que não necessita de sol ou de vento para o conforto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de Materiais Particulados

Os dados referentes a concentração de $MP_{2,5}$ e MP_{10} por período de refeição e dia, assim como o índice da razão entre a concentração interna e externa são mostrados na Tabela 3.

TABELA 3 - Concentração de material particulado MP_{2,5} e MP₁₀

Período	Dia	Concentração de MP _{2,5} (µg/m ³)			Concentração de MP ₁₀ (µg/m ³)		
		Interna	Externa	Índice	Interna	Externa	Índice
Almoço	1	17	14	1,2	21	22	0,95
	2	19	12	1,58	25	19	1,32
	3	30*	16	1,88	32	23	1,39
	4	15	11	1,36	25	16	1,56
	5	19	14	1,36	45	25	1,80
Jantar	6	10	5	2,00	28	25	1,12
	7	13	16	0,81	29	26	1,12
	8	26*	17	1,53	60*	55	1,09
	9	14	10	1,40	36	23	1,57
	10	14	6	2,33	31	21	1,48

*Concentrações que ultrapassaram o valor recomendado pelo Decreto do Estado de São Paulo N° 59.113 de 23 de abril de 2013, de 25 µg/m³ para MP_{2,5} e 50 µg/m³ para MP₁₀.

Como pode ser observado, em relação as concentrações de MP_{2,5}, verifica-se que no período do almoço do dia 3 e do jantar do dia 8, os valores ultrapassaram o máximo recomendado pela legislação vigente. Já em relação ao MP₁₀, apenas no período do jantar do dia 8, a concentração foi superior ao valor recomendado pela legislação.

Entretanto, nota-se também que para o MP₁₀ há uma diferença de concentrações entre o período do almoço e do jantar, que pode ser explicada pelo acúmulo ao longo do dia no interior do restaurante. Para melhor compreensão, as tendências dos dados monitorados são apresentadas nas Figuras 4 e 5.

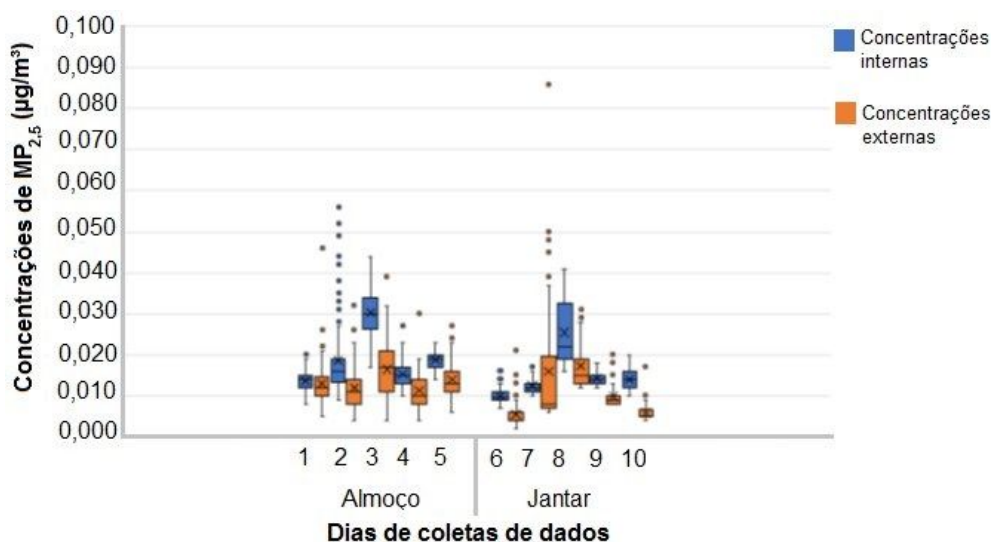


FIGURA 4 - Concentrações internas e externas de MP_{2,5} (µg/m³).

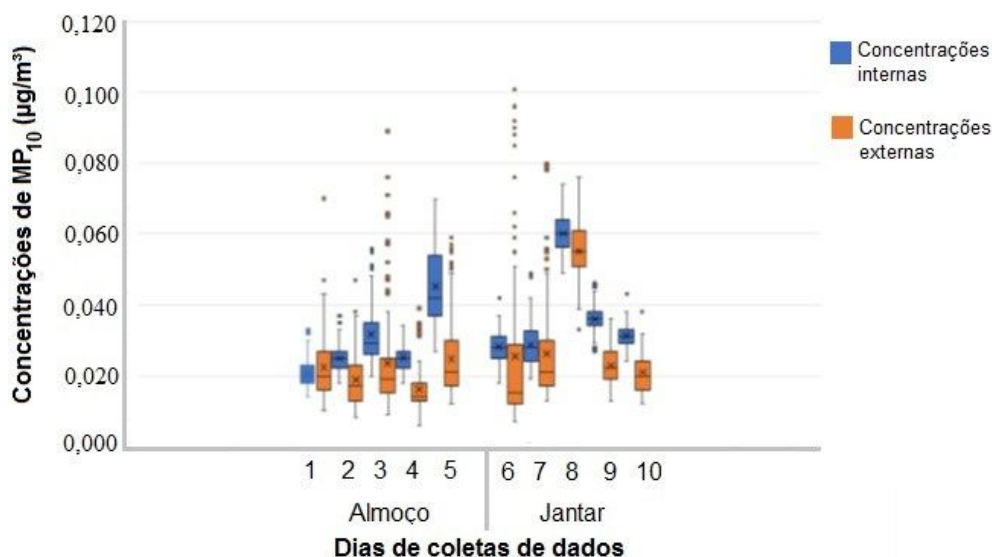


FIGURA 5 - Concentrações internas e externas de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Na maioria dos dias, a concentração interna de $MP_{2,5}$ e MP_{10} foi maior que a externa (índice interno/externo maior que 1), somente ocorrendo o contrário no dia 7 para $MP_{2,5}$ e no dia 1 para MP_{10} .

Os dias de maiores médias e variâncias de material particulado no ambiente externo pode ser relacionado à geração e suspensão de material particulado por obras no campus, também pela intensa circulação de pessoas que esperam em filas para entrar no restaurante, ou que permanecem no local após a saída do mesmo e de ambulantes que vendem desde doces a produtos de artesanato, realidade comum em RU's do Brasil.

Mesmo assim, no geral, as concentrações de $MP_{2,5}$ e MP_{10} se adequaram aos padrões estabelecidos e isso pode ser atribuído a dois fatores: a cozinha que é totalmente fechada e a vegetação do entorno do RU.

Sobre o primeiro fator, Zhang et al. (2017) estudaram a distribuição de material particulado em dois tipos de restaurantes universitários diferentes: os que tinham cozinha aberta e os de cozinha fechada. O ato de cozinhar é a segunda maior fonte de material particulado em ambientes internos. Nesse estudo, as maiores concentrações de material particulado $MP_{2,5}$ e MP_{10} se encontravam nas cozinhas abertas para o local em que os usuários faziam suas refeições. Portanto, o fato do RU da UFSCar apresentar uma cozinha fechada colabora amplamente para a manutenção das concentrações de material particulado dentro dos padrões recomendados.

Em relação à vegetação do entorno, o estudo de Dzierzanowski (2011) aponta a importância da presença de árvores para a absorção de material particulado do ambiente, agindo como um filtro biológico natural. Logo, a vegetação ao redor do RU da UFSCar atua fortemente para controlar as concentrações de material particulado tanto do ambiente externo quanto do interno.

Análise da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e do conforto térmico

A Figura 6 apresenta os valores de temperatura do ar obtidos durante o período de coleta.

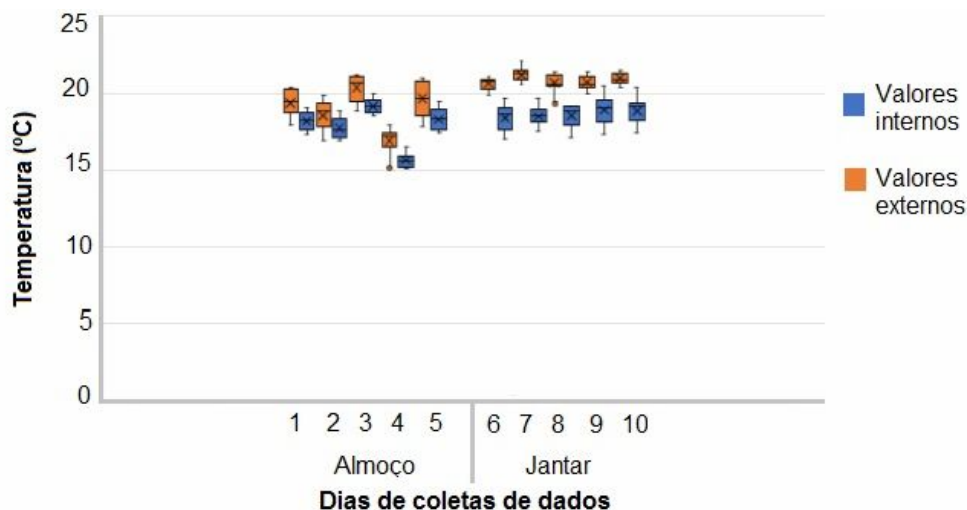


FIGURA 6 - Valores internos e externos de temperatura (°C) do ar.

A coleta de dados foi realizada nos meses de junho e julho, período inicial do inverno. O edifício do restaurante universitário não é vedado e durante o dia todas as janelas ficavam abertas, permitindo a ventilação natural. Desta forma, durante as refeições de almoço, nenhuma temperatura do ar ultrapassou os valores recomendados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabelece valores máximos de 22°C.

Os dados do jantar são curiosos pois todas as temperaturas internas ficaram entre os valores mínimo e máximo permitidos (20 a 22°C). O jantar ocorre entre as 17:15 e 19:00, ou seja, era esperado que as temperaturas internas fossem menores que as medidas durante o almoço devido à redução natural na temperatura do ar durante o dia. Porém, o que se observou foi o contrário.

Esse acontecimento é devido ao tempo que, por ser mais frio no período da noite, desencadeia o fechamento das janelas do restaurante e o local se assemelha a uma estufa, conservando o calor corporal dos usuários dentro do local e mantendo as temperaturas entre 20°C a 22°C. A Figura 7 apresenta os dados de umidade relativa do ar obtidos no ambiente estudado.

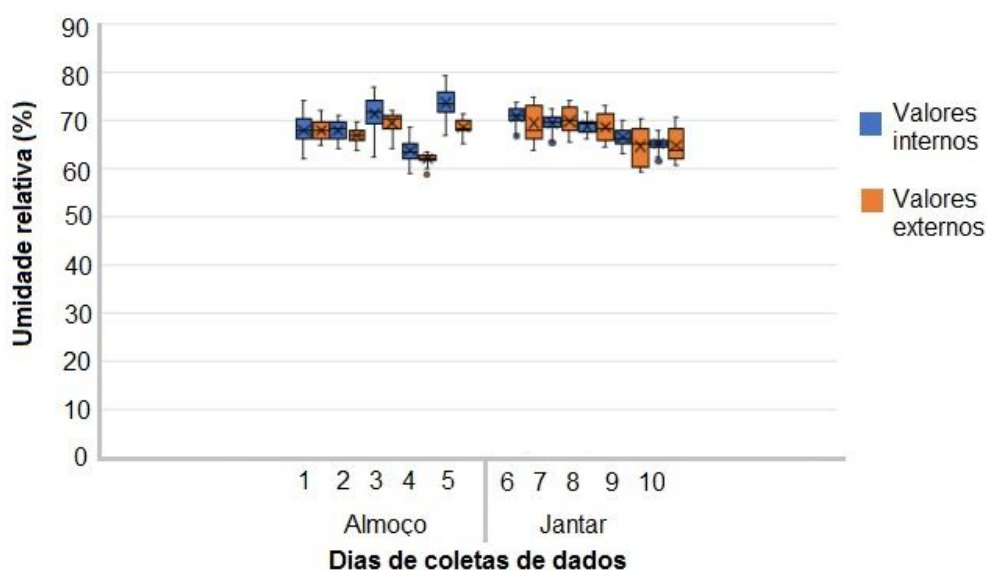


FIGURA 7 - Valores internos e externos de umidade relativa (%) do ar.

Observa-se na Figura 7 que todos os valores de umidade relativa do ar interno ultrapassaram o máximo permitido pela ANVISA, que estabelece valores máximos de 65%, com exceção do dia 4. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de ter sido o dia mais frio entre todos os que foram monitorados.

Assim como para a temperatura do ar, a umidade relativa do ar interno se assemelhou muito à externa com valores de 21,21 a 15,65 °C e de 71,39 a 62,03 % respectivamente. Contudo, durante o período do jantar, em que todas as janelas se mantiveram fechadas, também se observou números muito similares para as umidades relativas do ar do ambiente interno e do externo.

Todavia, para melhor compreensão, a temperatura do ar e a umidade relativa do ar devem ser avaliadas conjuntamente. As duas se relacionam através do conforto térmico que diz respeito à satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente, (Figura 8).



FIGURA 8 - Diagrama de conforto térmico, contendo os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar obtidos nesse estudo.

Nota-se na Figura 8 que todos os pontos do horário do jantar são considerados como um ambiente confortável, proporcionado principalmente pela conservação das temperaturas internas, causada pelo fechamento das janelas. Dentro os 5 dias de coleta no almoço, dois deles se enquadraram na circunstância de necessidade de sol para o conforto: dia 2 e dia 3.

O trabalho de Oliveira (2016) avaliou as condições térmicas em edificações de porte monumental na Universidade de Brasília (UNB), entre elas o Restaurante Universitário. A percepção do conforto térmico foi avaliada por meio de questionário qualitativo aplicado aos usuários. A coleta dos dados foi feita em ambos os períodos do almoço e do jantar, em um dia ensolarado e quente, sem precipitação, cuja mínima foi de 19°C e máxima de 32°C. Independente do horário, a maioria dos usuários considerou o local quente e gostaria que ele estivesse mais frio, além de não perceber a presença de sol dentro do ambiente nem a entrada de vento.

Para o RU da UFSCar, as temperaturas monitoradas foram relativamente menores, com um clima mais ameno. Porém, como as estruturas dos restaurantes universitários são, de certa maneira, semelhantes, é importante observar a permanência da inadequação da percepção do conforto térmico no ambiente interno, mesmo em situações climáticas diferentes.

Análise de Dióxido de Carbono

A Figura 9 apresenta os dados de Dióxido de Carbono coletados no interior e exterior do Restaurante Universitário.

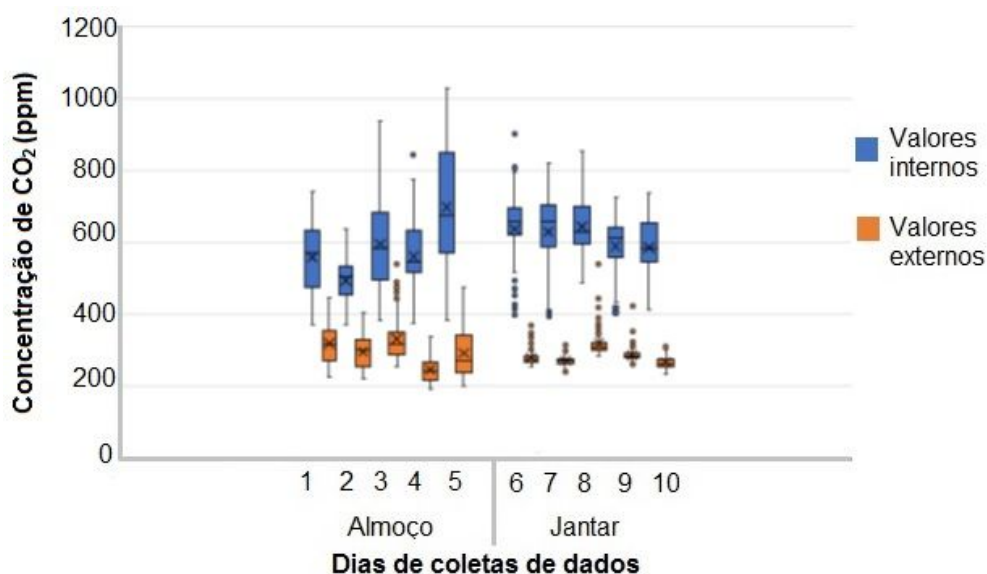


FIGURA 9 - Concentrações internas e externas de CO₂ (ppm).

A ANVISA determina uma concentração interna máxima de 1000 ppm. Pode-se observar pela Figura 9 que nenhum dos dias de análise obteve-se valores superiores a esse (245,6 - 699,1ppm). É importante notar que os maiores valores de índice interno/externo se dão no jantar, quando as janelas eram fechadas e o CO₂ gerado pelo metabolismo dos usuários se concentrava no ambiente.

Verifica-se que os maiores desvios padrão se dão sempre no ambiente interno, representados pelas caixas em azul. A ocupação do restaurante sempre varia durante os períodos das refeições, principalmente quando se considera o alto fluxo de pessoas entrando e saindo.

Sobre a parte externa, a variação das concentrações do almoço foi maior que a do jantar, porque as atividades acadêmicas nos períodos da manhã e da tarde são maiores devido ao número considerável de pessoas que se mantém aos arredores do Restaurante Universitário antes e após o almoço. Além disso, normalmente formam-se fila para a entrada do restaurante, e esta é bem maior no almoço do que no jantar. O grupo de pessoas que ficam na parte externa do restaurante universitário, durante o jantar, é menor, resultando em números mais estáveis de concentração de CO₂ quando comparado com os valores obtidos no almoço.

A literatura disponível sobre qualidade do ar interna de restaurantes não faz menção a monitoramento de níveis de concentração de CO₂. Comin (2016) estudou a qualidade do ar interno de salas de aula do campus da UFSCar em São Carlos. O monitoramento em salas climatizadas com ar condicionado acusou não conformidade com a legislação em quase todas as datas de coleta. Já as salas de ventilação natural apresentaram, em todos os dias de medição, valores de concentração de CO₂ abaixo dos 1000 ppm exigidos pela legislação, com números equivalentes aos coletados neste trabalho. Como o RU analisado também apresenta ventilação natural, pode-se esperar que as concentrações de CO₂ interno não ultrapasse o valor máximo permitido pela legislação.

Análise de ruído

A Figura 10 apresenta os dados de ruído obtidos a partir da avaliação do índice em decibéis.

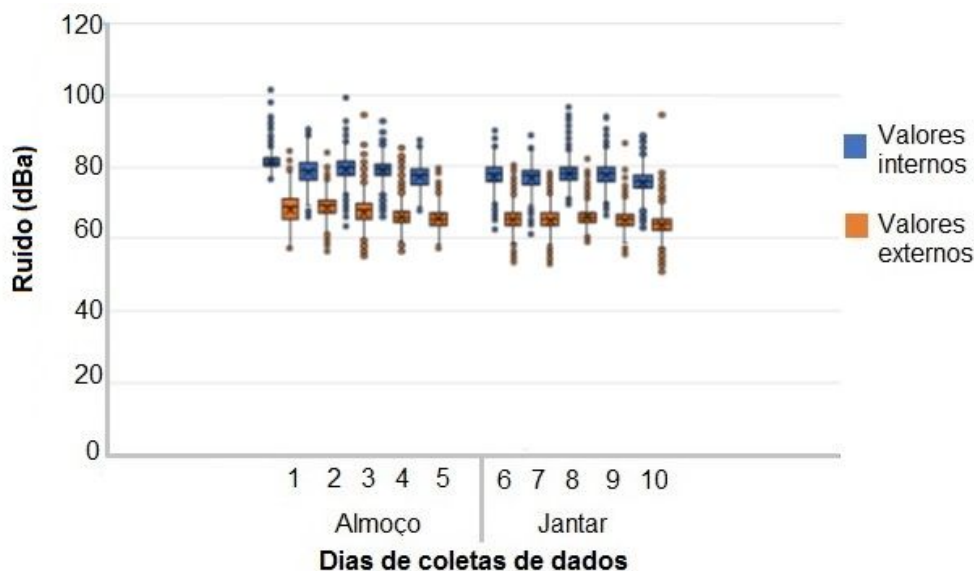


FIGURA 10 - Valores internos e externos de ruído (dBa).

Verifica-se na Figura 10 que todos os desvios padrão das séries de dados foram pequenos. O ruído se mantém em valores elevados (acima do recomendado pela ANVISA – 50dB) em toda a duração dos períodos do almoço e jantar, não importando quantas pessoas havia dentro do restaurante.

Os valores elevados de ruído dentro do restaurante são explicados pela concentração de usuários que frequentam o restaurante, em sua maioria, em grupos, e passam o período das refeições conversando. Todos os dias apresentaram alguns pontos anômalos, que possivelmente pode ser decorrente da passagem das pessoas perto do equipamento, ou até mesmo, usuários podem ter feito sua refeição próxima ao equipamento.

No trabalho de Oliveira (2016) foram realizadas medições dos níveis de ruído por meio de decibelímetros, além de aplicação de questionários qualitativos para avaliação do conforto acústico do restaurante pelos usuários. A coleta dos dados foi feita em 21 pontos diferentes, em um tempo de 40 minutos, no horário de pico do restaurante. Os usuários notaram sons que influenciavam a altura da conversa de maneira negativa, principalmente derivados de outras conversas no ambiente. A média do nível de ruído interno médio coletado foi de 78,1 dBa, muito semelhante a do presente trabalho, que apresentou média de 77,8 dBa.

Os níveis de ruído também foram estudados no Restaurante Universitário da Universidade de Campinas (UNICAMP), no estudo de Bravalheri et al. (2010). Nesse trabalho, foram feitas coletas de dados em 3 dias diferentes da semana, fazendo uso de 10 medições simultâneas de 10 minutos cada. A média final observada foi de 74 dBa, valor acima dos 50 dBa permitidos pela ANVISA. Ainda, o estudo mostrou que os níveis de ruído se mantinham muito elevados independentemente do dia da semana.

Os três restaurantes universitários estudados, portanto, apresentam níveis de

ruído muito acima do valor máximo permitido pela legislação, mostrando a relevância do monitoramento interno de ruídos para ambientes internos de restaurantes.

CONCLUSÕES

Por meio dos resultados apresentados para a qualidade do ar do estudo em questão, pode-se concluir que o atendimento aos padrões estabelecidos para as concentrações de MP_{2,5}, MP₁₀ e CO₂ deva-se principalmente à estrutura da cozinha que se mantém sempre fechada, à vegetação de todo o entorno do RU que atua como filtro de poluentes e à ventilação natural que permite melhores trocas gasosas.

Em contrapartida, com os resultados de conforto térmico e acústico, conclui-se que os mesmos excederam o que é recomendado em legislação, devido à livre abertura e fechamento das janelas do ambiente e à ausência de isolamento acústico nas paredes internas.

Nesse contexto, evidencia-se a importância da presente pesquisa, pois apesar de ser específica, serve de diretriz para o projeto, planejamento e construção ou reforma do próprio RU e de outros RUs em todo o Brasil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RE Nº 9**. Brasil, 16 de janeiro de 2003. 10 p. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RE_09_2003.pdf/f4af80d4-8516-4f9c-a745-cc8b4dc15727>. Acesso em 10 de abril de 2019.

ALVES, A. C. M.; ROSA, P. F. & AGUIAR, M. L. Monitoramento ambiental em um laboratório acadêmico de engenharia química: ênfase na qualidade do ar interior. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n. 22, p. 3350-3366, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_049.

ALVES, L. A. B. Avaliação da qualidade ambiental de estabelecimentos comerciais da região central de São Carlos, SP. 2013. 89 f. **Dissertação (Mestrado em Ciências)** - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 62**: Ventilation for acceptable indoor air quality. Califórnia, 2001. 187 p.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto Nº 59.113 de 23 de abril de 2013**. 3 p. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>>. Acesso em: 08 de abril de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 2000. 4 p. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/NBR-10151-de->

2000.pdf>. Acesso em 05 de março de 2019.

BOWE, B.; XIE, Y.; LI, T.; YAN, Y.; XIAN, H. et al. The 2016 global and national burden of diabetes mellitus attributable to PM2.5 air pollution. **The Lancet Planetary Health**, v. 2 n. 7, p. 301-312, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30140-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30140-2).

BRANCO, P. T.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; MARTINS, F. G. & SOUSA, S. I.V. Quantifying indoor air quality determinants in urban and rural nursery and primary schools. **Environmental Research**, v. 176, p. 1-20, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108534>.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p. Decreto nº 7.234, de 19 de julho de 2010. Dispõe sobre o Programa Nacional de Assistência Estudantil – PNAES. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, BRASIL 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7234.htm>. Acesso em: 20 de junho 2019.

BRAVALHERI, A. C.; BERNARDO, L. A.; MIRANDA, M. A. M.; ANGELO, T. N. & PARAHYBA, V. E. S. Poluição Sonora em Ambientes da Unicamp. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2010. DOI: <https://doi.org/2179-9962>.

BROOK, R. D.; RAJAGOPALAN, S.; POPE, C. A.; BROOK JÚNIOR, R. D.; BHATNAGAR, A. et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. **American Heart Association**, v. 121, n. 21, p. 2331-2378, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1>.

BUTT, E. W.; TURNOCK, S. T.; RIGBY, R.; REDDINGTON, C. L.; YOSHIOKA, M. et al. Global and regional trends in particulate air pollution and attributable health burden over the past 50 years. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 10, p. 1-10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa87be>.

COHEN, A. J.; BRAUER, M.; BURNETT, R.; ANDERSON, H. R.; FROSTAD, J. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **The Lancet Journal**, v. 389, n. 10082, p. 1907-1918, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6).

COMIN, T. T. **Avaliação da qualidade do ar em interiores climatizados e ambientes abertos de uma universidade em São Carlos/SP**. Tese (doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos – SP, p. 1-123, 2016.

COMIN, T. T. **Monitoramento ambiental em uma escola da cidade de São Carlos-SP: ênfase em qualidade do ar interior**. 2012. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

DATTA, A.; SURESH, R.; GUPTA, A.; SINGH, D. & KULSHRESTHA, P. Indoor air quality of non-residential urban buildings in Delhi, India. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 6, n. 2, p. 412-420, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.07.005>.

DZIERZANOWSKI, K. & GAWRONSKI, S. W. Use of Trees for Reducing Particulate Matter Pollution in Air. **Challenges of Modern Technology**, v.1, p. 69-73, 2011. DOI: <https://doi.org/71.0000.1500.1501>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Dados meteorológicos**, 2017. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/dados-meteorologicos>>. Acesso em: 20 de junho de 2019.

ESTATCAMP - Consultoria em estatística e qualidade. Software Action: **Boxplot**. Disponível em: < <http://www.portalaction.com.br/estatistica-basica/31-boxplot>>. Acesso em: 20 de junho. 2019.

GARDINI, S. A.; CARVALHO, P. W.; SOUZA, A. W.; JORGE, J. L.; MALIMPENSA, R. et al. Plano integrado de segurança pública do município de são carlos. **Secretaria Municipal de Segurança Pública e de Defesa Social - Prefeitura de São Carlos** - São Carlos/SP, p. 1-50, 2019. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/files/PLANO%20INTEGRADO%20DE%20SEGURAN%C3%87A%20P%C3%9ABLICA%202019.pdf>>. Acesso em 20 de junho de 2019.

GLOBAL HEALTH METRICS. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **The Lancet Journal**, v. 390, n. 10100, p. 1345-1422, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32366-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32366-8).

GUXENS, M. M. J.; LUBCZYNSKA, R. L.; MUETZEL, A.; DALMAU-BUENO, V. W. V.; JADDOE, G. et al. Air Pollution Exposure During Fetal Life, Brain Morphology, and Cognitive Function in School-Age Children. **Biological Psychiatry**, v. 84, p. 295-303, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2018.01.016>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2018**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=510340>> Acesso em: 20 de junho de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de Previsão de tempo e estudos climáticos**. Disponível em: <<clima1.cptec.inpe.br/estacoes>>. Acesso em: 20 de junho de 2019.

ITO, L. X. **Monitoramento da qualidade do ar de ambientes internos** - bibliotecas. 2007. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

KAWAMOTO, M. S. **Monitoramento ambiental e higiene ocupacional em uma indústria química da cidade de São Carlos – SP: ênfase em qualidade do ar interior**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

KOIVISTO, A. J.; KLING, K. I.; HÄNNINEN, O.; JAYJOCK, M.; LÖNDAHL, J. et al. Source specific exposure and risk assessment for indoor aerosols. **Science of the total environment**, v. 668, n. 10, p. 13-24, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.398>.

LANDRIGAN, P. J.; FULLER, R.; ACOSTA, N. J. R.; ADEYI, O.; ARNOLD, R. et al. The Lancet Commission on pollution and health. **The Lancet Journal**, v. 391, n. 10119, p. 462-512, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0).

LEHTOMÄKI, H; KORHONEN, A; ASIKAINEN, A.; KARVOSENOJA, N.; KUPIAINEN, K. et al. Health Impacts of Ambient Air Pollution in Finland. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 4, p. 736, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15040736>.

NASCIMENTO, G. C. Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos: salas de aula. São Carlos: **USP/Departamento de Engenharia Ambiental**, 2008. 156 p. Trabalho de Conclusão de Curso.

NASCIMENTO, G. C. **Avaliação da qualidade do ar em ambientes internos: biblioteca pública**. 2011. 190 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OLIVEIRA, A. L. A. **Avaliação das Condições de Desempenho Acústico, Luminoso e Térmico em Edificações de Porte Monumental: um Estudo de Caso da Biblioteca Central e do Restaurante Universitário da Universidade de Brasília**. 2016. 148 f. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, 2016.

PEITER, F. S. **Avaliação da qualidade ambiental interna no transporte coletivo da cidade de São Carlos, SP. 2014**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

ROTIROTI, A. S. **Monitoramento da qualidade ambiental no mercado municipal da cidade de São Carlos, SP: material particulado em suspensão, temperatura, umidade e ruído**. 2013. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SANTOS, J. A. **Desperdício de alimentos em restaurantes universitários no Brasil. 2016**. 36 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SCHORNOBAY, E. **Caracterização de ambientes internos da região central de São Carlos/SP: material particulado e poluição sonora**. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SIMANIC, B.; NORDQUIST, B.; BAGGE, H. & JOHANSSON, D. Indoor air temperatures, CO₂ concentrations and ventilation rates: Long-term measurements in newly built low-energy schools in Sweden. **Journal of Building Engineering**, v. 25, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100827>.

SPIRU, P. & SIMONA, P. L. A review on interactions between energy performance of the buildings, outdoor air pollution and the indoor air quality. **Energy Procedia**, v. 128, p. 179-186, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.039>.

THURSTON, G. D.; KIPEN, H.; ANESSI-MAESANO, I.; BALMES, J.; BROOK, R. D. et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. **European Respiratory Journal**, v. 49, n. 1, p. 1600419, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1183/13993003.0041>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. Relatório de atividades 2017. **Pro-Reitoria de Assuntos Comunitários e Estudantis**, 2018. Disponível em: <<http://www.proace.ufscar.br/arquivos/outros/relatorio-de-atividades-proace2017-final>>. Acesso: em 20 de abril de 2019.

VARELA, M. C. M. S.; CARVALHO, D. R.; OLIVEIRA, R. M. A.; DANTAS, M. G. S. O custo dos desperdícios: um estudo de caso no restaurante universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. XXII **Congresso Brasileiro de Custos** – Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. **Department of Public Health, Environmental**. Geneva, 2016. ISBN: 9789241511353. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

ZHANG, D.; JIN, X.; YANG, L.; DU, X. & YANG, Y. Experimental study of inhalable particle concentration distribution in typical university canteens. **Journal of Building Engineering**, v. 14, p. 81-88, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.10.004>.