

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JADER TAVARES LIMA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERIOR E DA VARIAÇÃO DE CARGA
TÉRMICA REFERENTE AO INCREMENTO DA VAZÃO DE RENOVAÇÃO
MECÂNICA EM AMBIENTES PÚBLICOS**

PONTA GROSSA

2022

JADER TAVARES LIMA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERIOR E DA VARIAÇÃO DE CARGA
TÉRMICA REFERENTE AO INCREMENTO DA VAZÃO DE RENOVAÇÃO
MECÂNICA EM AMBIENTES PÚBLICOS**

**ANALYSIS OF INDOOR AIR QUALITY AND THERMAL LOAD VARIATION BY
INCREASE IN MECHANICAL AIR RENEWAL FLOW IN PUBLIC ENVIRONMENTS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. M. Eng^a. Tárik Linhares Tebchirani

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JADER TAVARES LIMA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERIOR E DA VARIAÇÃO DE CARGA
TÉRMICA REFERENTE AO INCREMENTO DA VAZÃO DE RENOVAÇÃO
MECÂNICA EM AMBIENTES PÚBLICOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28/junho/2022

Tárik Linhares Tebchirani
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilberto Zammar
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ariel Orlei Michaloski
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. M. Eng^a. Tárík Linhares Tebchirani, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta trajetória.

À Secretaria do Curso, pela cooperação.

Agradeço às equipes que me acolheram durante minha trajetória na universidade, foram elas a Vulcano Empresa Jr, a UTForce FSAE e-Racing, a Orion Aerospace Design e o Grupo de Sistemas Automotivos coordenado pelo Professor Doutor Max Mauro Dias Santos.

Agradeço à Professora Mestre Sandra Mara Kaminski Tramontin que me acolheu como monitor da disciplina de Ensaaios Mecânicos e agradeço ao colega de curso Giovanni Mantovani por intermediar a minha primeira oportunidade de estágio que foi uma experiência transformadora para minha carreira.

Agradeço também ao meu colega de curso e amigo de longa data Filipe de Sousa Araújo que me apoiou durante toda esta jornada.

Por último, sou imensamente grato à minha família, principalmente à minha mãe Maria Liduina Eloi Tavares, que moveu montanhas para que eu conseguisse alcançar meus objetivos, e à minha amada Isabella Cristina Silva Cardoso que me apoiou nos momentos mais difíceis e compartilhou os momentos mais felizes nessa caminhada.

RESUMO

A qualidade do ar interior em ambientes públicos foi por muito tempo negligenciada. Com o advento da pandemia de Covid-19, esse cenário mudou, uma vez que a infecção por via respiratória é o principal meio de contágio do SARS-CoV-2. Em um momento em que não há medicamentos acessíveis para o tratamento da doença, a prevenção se torna a principal frente de batalha. Nesse sentido, os sistemas de climatização ocupam um lugar de protagonismo no combate ao vírus. Para evitar o contágio de doenças infecciosas através do ar, os sistemas de climatização devem estar devidamente dimensionados de forma a proporcionar uma adequada taxa de renovação de ar. Neste trabalho, as normas reguladoras brasileiras para dimensionamento de sistemas de climatização, mais especificamente das taxas de renovação de ar, são avaliadas em comparação às normas estrangeiras e referências recentes sobre as formas de contágio do SARS-CoV-2. Além disso, é analisado também o custo energético do acréscimo de entrada de ar exterior no ambiente climatizado, de modo a atingir valores mínimos de qualidade.

Palavras-chave: Qualidade do ar de interiores; Renovação de ar; Covid-19; Carga térmica.

ABSTRACT

Indoor air quality in public environments has been neglected for a long time, with the advent of the Covid-19 pandemic this scenario has changed since air is the principal way of infection of SARS-CoV-2. At a time when there are no accessible medicines for the treatment of the disease, prevention becomes the main battlefield, in this sense the air conditioning systems occupy a leading role in the fight against the virus. To avoid contagion of infectious diseases through the air, the HVAC systems must be properly dimensioned in order to propose an adequate rate of air renewal. In this work, Brazilian regulatory standards for dimensioning HVAC systems, more specifically air renewal rates, are evaluated in comparison to foreign standards and recent references on the forms of infection of SARS-CoV-2. In addition, the energy cost of adding outside air to the air-conditioned environment is also analyzed in order to achieve minimum quality values.

Keywords: Indoor air quality; Air renewal; Covid-19; Thermal load.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação por tamanho e composição do material particulado atmosférico em relação a sua fonte	14
Figura 2 - Esquema simplificado de renovação de ar.....	22
Gráfico 1 - Vazão total de ar exterior por nível de vazão.	28
Gráfico 2 - Vazão total de ar exterior por pessoa, por nível de vazão.	29
Gráfico 3 - Carga térmica devido a renovação de ar.....	30
Gráfico 4 - Carga térmica devido ao ar exterior insuflado para o nível 1 de vazão em diferentes cidades.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normas nacionais e internacionais sobre qualidade do ar.	18
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados climáticos de cidades brasileiras.	19
Tabela 2 - Banco (área do público)	24
Tabela 3 - Sala de aula	25
Tabela 4 - Restaurante (salão de refeições).....	25
Tabela 5 - Dados de vazão por ambiente	25
Tabela 6 - Diferença de vazão de ar para a referência RE 9 Anvisa e carga térmica associada.	30
Tabela 7 - Diferença de vazão de ar para a referência EN 16798-1 e carga térmica associada.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	11
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo geral	11
1.2.2	Objetivos específicos.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Poluentes químicos	13
2.2	Poluentes biológicos	14
2.3	Conforto térmico	15
2.4	Renovação de ar	16
3	METODOLOGIA	18
3.1	Normas sobre qualidade do ar	18
3.2	Análise de vazão de ar exterior e carga térmica	19
3.3	Cálculo de vazão de ar exterior segundo a ABNT NBR 16401-3	19
3.4	Cálculo de carga térmica do ar de renovação	21
3.5	Cenários Hipotéticos	24
4	RESULTADOS	25
4.1	Análise de normas vigentes sobre qualidade do ar interior	26
4.1.1	Quanto à poluentes químicos	26
4.1.2	Quanto à poluentes biológicos	26
4.1.3	Quanto à umidade	26
4.1.4	Quanto à temperatura	27
4.1.5	Quanto à concentração de oxigênio	27
4.1.6	Quanto à velocidade do ar	27
4.1.7	Quanto à renovação de ar	27
4.1.8	Quanto à filtragem	27
4.2	Vazão de ar exterior e carga térmica	28
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Em 2019, o mundo conheceu uma das maiores pandemias que a humanidade já enfrentou, o responsável é um vírus já conhecido por protagonizar outros surtos nos séculos XX e XXI. Os Corona Vírus, que são encontrados principalmente em morcegos, foram responsáveis por duas grandes epidemias nas últimas duas décadas: a SARS (Síndrome Respiratória Aguda Grave), a MERS (Síndrome Respiratória do Oriente Médio) e atualmente também são responsáveis pela doença conhecida como Covid-19, cuja origem é dada como sendo em Wuhan, na China, onde foi conhecido o primeiro surto da doença (PENG ZHOU et al., 2020).

Esta é uma de várias doenças cujo principal meio de transmissão se dá pelo ar, elas podem ser causadas por vírus, bactérias, fungos e outros microrganismos. Há também doenças causadas pela presença significativa de poluentes como monóxido de carbono e monóxido de nitrogênio, que são cada vez mais comuns em grandes centros urbanos (WHO global air quality guidelines, 2021).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde:

“A poluição do ar aumenta especialmente a morbidade e mortalidade das doenças cardiovasculares e respiratórias não transmissíveis que são as principais causas da mortalidade global; também aumenta a carga de doenças de infecções do trato respiratório inferior e nascimento prematuro e outras causas de morte em crianças e bebês, que continuam sendo uma das principais causas da carga de doenças em países de baixa e média renda” (WHO global air quality guidelines, 2021, p. 2).

Portanto, tendo em vista o potencial de contágio, a severidade e o aumento de casos de doenças transmitidas por via aérea, a qualidade do ar se torna um fator chave para o conforto e bem-estar da população. Nesse sentido, sistemas de climatização e ventilação ocupam um papel importante para a manutenção da qualidade do ar interno em ambientes de uso coletivo, visto que tais sistemas podem amenizar ou potencializar o contágio de doenças originadas por agentes biológicos, como o caso ocorrido em um restaurante em Wuhan, onde se utilizava um sistema de climatização baseado em recirculação de ar, que acabou por contribuir para a dispersão de aerossóis contaminados como o SARS-COV-2, vírus causador da Covid-19 (JIANYUN LU et al., 2020).

Além disso, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, os sistemas de climatização e ventilação também impactam diretamente a concentração de poluentes atmosféricos e o conforto térmico que estão diretamente associados ao bem-estar e produtividade em ambiente de trabalho (SEI, 2020).

Somado à crise sanitária, o Brasil no momento da elaboração deste trabalho, enfrenta também uma crise energética que, associada ao clima tropical brasileiro, forma um grande obstáculo para o uso de sistemas de climatização e ventilação adequados com grau de renovação de ar suficiente para o enfrentamento deste momento pandêmico. Tornando-se necessária, portanto, a busca pelo ponto de equilíbrio entre consumo energético, conforto térmico e qualidade do ar interior.

1.1 Justificativa

A realização deste trabalho se justifica pela gravidade e alcance da pandemia de Covid-19, cujo principal meio de contágio se dá pelo ar, somado à crescente preocupação com índices de poluição atmosférica, que agridem cada vez mais grandes cidades e polos industriais do Brasil.

Além disso, tendo em vista a situação econômica e energética do país, se faz necessário soluções de baixo custo e alta eficiência energética que atenda às necessidades de conforto térmico e qualidade de ar para climas tropicais.

1.2 Objetivos

Nesta seção é apresentado o objetivo geral do trabalho, bem como os objetivos específicos a serem alcançados durante seu desenvolvimento.

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto energético do implemento de renovação de ar necessária para diminuir o potencial de contágio de doenças causadas por agentes biológicos mantendo níveis adequados de qualidade de ar interior.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar as normas vigentes sobre qualidade do ar em meio a pandemia de Covid-19;

- Avaliar os parâmetros que influenciam na viabilidade e na propagação do SARS-CoV-2;
- Avaliar o incremento de carga térmica devido à implementação de renovação de ar;
- Analisar a variação de carga térmica referente à vazão em diferentes cidades brasileiras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A análise de qualidade de ar interior reúne sob sua lente de estudo características do ar que tornam determinados ambientes adequados às necessidades humanas, também chamados de ambientes aceitáveis que, de acordo com a ANVISA, são definidos como “ambientes livres de contaminantes em concentrações potencialmente perigosas à saúde dos ocupantes ou que apresentem um mínimo de 80% dos ocupantes destes ambientes, sem queixas ou sintomatologia de desconforto” (RE Nº 9 ANVISA, 2003).

Para averiguar se um ambiente é aceitável ao convívio humano, pode-se dividir esta análise sob duas óticas: o conforto térmico, que está ligado principalmente à umidade e à temperatura, e a concentração de poluentes, que podem ser divididos em poluentes biológicos e poluentes químicos. O controle destes parâmetros para a manutenção de um ambiente adequado é feito através de controle térmico e de umidade, filtragem e renovação de ar.

2.1 Poluentes químicos

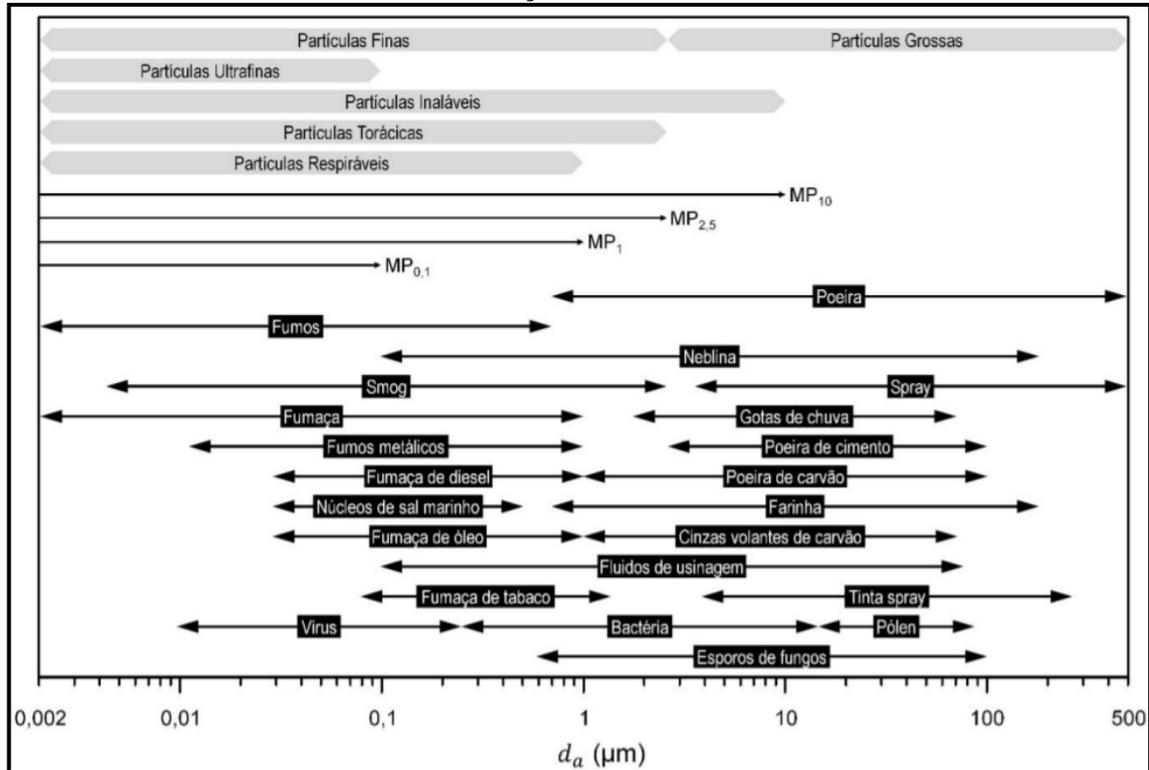
Os poluentes químicos são em sua maioria oriundos da poluição urbana como o dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e dióxido de enxofre. Nesta categoria se encontram também os Compostos Orgânicos Voláteis e os Compostos Orgânicos Semivoláteis encontrados em produtos de limpeza e pesticidas (RE Nº 9 ANVISA, 2003).

Ademais, podemos incluir à categoria de poluentes químicos materiais particulados como poeira e fibra. A Organização Mundial da Saúde (OMS) traz o conceito de Partícula de Matéria (PM) para categorizar os poluentes sólidos ou líquidos suspensos na atmosfera com base em suas propriedades aerodinâmicas. As PMs abrangem um grande intervalo de diâmetro aerodinâmico, medida utilizada para classificar os tamanhos dessas partículas que variam de 1 nanômetro (nm) até 100 micrômetros (μm) (WHO Global Air Quality Guidelines, 2021).

A OMS classifica o grupo de partículas menores como mais perigosos à saúde, em especial os grupos $\text{PM}_{2,5}$ (partículas com diâmetro inferior a $2,5 \mu\text{m}$) e PM_{10} (partículas com diâmetro inferior a $10 \mu\text{m}$) que abrangem uma grande categoria de

partículas inaláveis, devendo assim ser monitoradas. A classificação das partículas de matéria pode ser observada na Figura 1 (Air Quality Guidelines, 2005).

Figura 1 - Classificação por tamanho e composição do material particulado atmosférico em relação a sua fonte



Fonte: Brito; Sodré; Almeida (2018)

Essa classificação das partículas em PMs de acordo com o diâmetro aerodinâmico define a forma como essa partícula será transportada e encontrada na atmosfera, além de indicar o quanto essa partícula será influenciada pela gravidade ou o potencial de agrupar-se formando agregados de maior dimensão (BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018).

2.2 Poluentes biológicos

Poluentes biológicos compreendem seres como bactérias, fungos, protozoários, vírus e artrópodes, cujas fontes podem ser o ar externo, equipamentos de climatização, superfícies úmidas ou pessoas que circulam no ambiente em análise, proporcionando assim a proliferação de infecções respiratórias (RE N° 9 ANVISA, 2003).

“Etiologicamente, as infecções respiratórias podem advir por diversos agentes, podendo ser citados, em especial os vírus, estes, determinados como a principal causa de morte por insuficiência respiratória aguda, no adulto. Em consonância, as infecções bacterianas possuem uma maior incidência, devido ao seu vínculo com a resistência aos antimicrobianos. Ainda assim, os fungos, e parasitas, demonstram gravidade clínica com grau de paridade”. (COSTA et al., 2016; ALENCAR et al., 2020 apud SANTANA et al., 2020).

Dentre os agentes de infecções respiratórias, um em especial causou grande preocupação em todo o mundo no ano de 2019, o SARS-COV-2. A doença em questão é um grande desafio no que diz respeito a manutenção da qualidade do ar em ambientes internos pela grande facilidade com a qual ele se espalha no ambiente e pela variedade de meios de infecção.

O Centro de Controle e Prevenção de Doenças (2020) aponta 3 principais formas de infecção:

- Inalação: pequenas gotas e partículas de aerossol contendo o agente infeccioso.
- Deposição: quando gotas carregando o agente infeccioso se depositam em membranas mucosas.
- Toque: pelo contato indireto de superfícies contaminadas com tecidos mucosos.

Dentre as formas de infecção, a mais preocupante é por meio de aerossóis que segundo Chia C. Wang “[...] são pequenos o suficiente para permanecer em suspensão no ar, acumular-se em espaços mal ventilados, e ser inalado em intervalos curtos e longos [...]” (WANG et al., 2021).

2.3 Conforto térmico

A ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, (2010) define conforto térmico como a condição mental na qual uma pessoa expressa satisfação com o ambiente térmico no qual está presente, sendo assim uma avaliação subjetiva, pois varia fisiologicamente e psicologicamente de pessoa para pessoa.

Ainda segundo a ASHRAE (2010), existem 6 fatores que precisam ser atendidos para se definir conforto térmico, são eles:

- Taxa Metabólica: a taxa de transformação de energia químico em calor e trabalho mecânico por atividades metabólicas dentro de um organismo.
- Isolamento de roupas: resistência a transferência de calor sensível através da roupa.
- Temperatura do ar: temperatura do ar ao redor do ocupante.
- Temperatura radiante: a temperatura uniforme da superfície de um invólucro preto imaginário no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor radiante que no espaço não uniforme real.
- Velocidade do ar: taxa do movimento de ar em um certo ponto.
- Umidade: a relação entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco em um determinado volume.

A variação desses fatores influencia na produtividade e bem-estar dos ocupantes (SEI/ANVISA, 2020). Se estes parâmetros não forem adequadamente controlados, pode se manifestar a síndrome laboral chamada de Síndrome do Edifício Doente (SED) definida como “[...] uma doença ocupacional coletiva devido a um ambiente de trabalho inadequado para a prática profissional [...]” cujas causas envolvem conforto térmico, mas também outros fatores como “[...] horas de trabalho, contaminantes químicos e biológicos e defeitos estruturais presentes no ambiente interno [...]” (SILVA; FERNANDES, 2020).

2.4 Renovação de ar

A renovação de ar se trata do insuflamento de ar exterior com o objetivo de reduzir poluentes gasosos, biológicos e químicos que não foram retidos nos filtros. O controle de qualidade do ar interior pode ser feito também reciclando ar do ambiente fazendo-o passar pelos filtros do sistema de ar-condicionado (NBR 16401-3, 2008).

Atualmente, as taxas de renovação de ar em edifícios são 30 vezes menores que no século passado, proporcionando um ambiente mais úmido e com maior concentração de poluentes químicos e biológicos (D’AVILA, 2019 apud FRANCHI et al., 2004). Esses dados se explicam em parte pela tentativa de selar qualquer entrada de ar em locais de climatização artificial, visto que a renovação de ar impacta negativamente o consumo energético do sistema de climatização.

No cenário atual de pandemia devido ao SARS-COV-2 a inserção de ar externo é requerida com mais frequência devido ao alto risco de contaminação em

ambientes fechados, o que gera um acréscimo da carga térmica do ambiente e interrompe os ciclos de refrigeração por recirculação de ar dos equipamentos comuns de ar-condicionado (CAMPOS; GUEDES, 2020).

A necessidade de renovação de ar mais frequente impacta não só no custo energético dos sistemas de climatização, mas também no conforto térmico dos ocupantes e requer uma reavaliação dos sistemas de filtragem de ar externo e interno quando circulado.

Tanto o conforto térmico quanto o impacto energético, devido ao incremento de carga térmica, podem ser contornados com um devido dimensionamento dos sistemas de climatização, adaptando o sistema escolhido ao clima local e às necessidades do ambiente a ser climatizado artificialmente, de modo a preservar a saúde dos ocupantes.

3 METODOLOGIA

Para avaliar o impacto energético da renovação ar em ambientes internos, foi utilizado o procedimento de cálculo de vazão exterior presente na NBR 16401-3 e na ASHRAE Standard 62.1 para então avaliar a adequação desses procedimentos às referências de qualidade existentes antes da pandemia de Covid-19 e após a pandemia. Este procedimento foi aplicado à cenários hipotéticos que visam simular ambientes reais.

3.1 Normas sobre qualidade do ar

Neste trabalho será utilizada uma abordagem qualitativa para analisar as normas vigentes nacionalmente e internacionalmente sobre qualidade de ar interior (Quadro 1), mais especificamente sobre os parâmetros que influenciam a propagação de doenças infectocontagiosas principalmente no que se diz respeito à Covid-19.

Quadro 1 - Normas nacionais e internacionais sobre qualidade do ar.

Norma	Título	Ano
NR-09	Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos	2022
NR-15	Atividades e operações insalubres	2022
NR 32	Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde	2022
Re 9 - ANVISA	Resolução 9 Anvisa	2003
ABNT NBR 16401-2	Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais de unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico	2008
ABNT NBR 16401-3	Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais de unitários Parte 3: Qualidade do ar interior	2008
ANSI/ASHRAE Standard 55	Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy	2010
ANSI/ASHRAE Standard 62.1	Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality	2019

Fonte: Autoria própria

Os parâmetros a serem avaliados serão os referentes à renovação e reciclagem de ar, filtragem, concentração de poluentes biológicos e não biológicos, e

fatores que influenciam o conforto térmico, como temperatura e umidade. Serão considerados também, artigos que descrevem as formas de contágio do SARS-COV-2 conhecidas até data de elaboração deste trabalho.

3.2 Análise de vazão de ar exterior e carga térmica

Será avaliado o impacto da renovação de ar na carga térmica do ambiente, visando adequação da qualidade de ar interior no cenário de pandemia de Covid-19. Para isso, serão avaliadas as vazões mássicas de ar, através do insuflamento de ar pelo sistema de climatização, para as diferentes cidades brasileiras presentes na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados climáticos de cidades brasileiras.

Cidade	TBS (°C)	TBU (°C)	Pressão (Pa)
São Paulo	31,1	20,2	92060
Belém	33,0	25,8	101300
Brasília	31,2	17,9	89220
Florianópolis	31,0	25,0	101250
Recife	33,5	26,7	101100

Fonte: SIMÕES-MOREIRA; NETO (2019)

3.3 Cálculo de vazão de ar exterior segundo a ABNT NBR 16401-3

A ABNT NBR 16401 “especifica os parâmetros básico e os requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado, visando à obtenção da qualidade aceitável do ar interior”, assegurada pela parte 3 da norma, pois ela lida mais especificamente com a qualidade do ar interior (NBR 16401-3, 2008).

A ABNT NBR 16401-3 (2008) descreve o procedimento de determinação de vazão de ar exterior classificando-a em três níveis:

- Nível 1 - Nível mínimo de vazão de ar exterior;
- Nível 2 - Nível intermediário de vazão de ar exterior;
- Nível 3 - Vazões de ar exterior que, segundo estudos, evidenciam a redução de reclamações e alergias.

Ainda, segundo a norma, os níveis de vazão devem ser acordados com o cliente e, então, para cada um deles, deve ser seguido o seguinte procedimento de cálculo:

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

Onde:

V_{ef} refere-se à vazão de ar exterior eficaz expressa em L/s;

P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

F_p é a vazão por pessoa expressa em L/s* pessoa;

A_z é a área útil ocupada pelas pessoas, expressa em m²;

F_a é a vazão por área útil ocupada expressa em L/s*m².

Os valores de F_p e F_a são tabelados e variam de acordo com o nível de vazão de ar exterior definido, os valores estão contidos na Tabela 2 da ABNT NBR 16401-3 (2008).

Com o valor de V_{ef} pode-se então calcular a vazão eficaz corrigida (V_z) como apresentado na Equação (2).

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

Onde V_z é dado em L/s e o valor de E_z refere-se à eficiência de distribuição de ar da zona e é tabelado de acordo com a ABNT 16401 parte 3 (2008), na sua Tabela 2.

Em seguida, a vazão de ar exterior (V_s) para a tomada de ar de renovação em sistemas que utilizam mistura de ar recirculado e ar exterior é calculada pela Equação (3).

$$V_s = D \cdot \frac{\sum(P_z \cdot F_p)}{E_v} + \frac{\sum(A_z \cdot F_a)}{E_v} \quad (3)$$

Esta expressão é utilizada para ambientes com mais de uma zona de ventilação, para o caso de uma única zona ou entrada de 100% de ar exterior, a equação pode ser simplificada para:

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

Onde o fator diversidade de ocupação (D) é definido na Equação (5) abaixo.

$$D = \frac{P_s}{\sum P_z} \quad (5)$$

O fator de diversidade de ocupação é adimensional, e o valor de P_z deve ser calculado para cada zona ventilada pelo mesmo sistema de ventilação. Caso exista somente uma zona de ventilação, utiliza-se o valor de P_z para esta zona.

Outro valor necessário para a Equação (3) é o fator Ev que se refere à eficiência do sistema de ventilação em suprir a vazão eficaz de ar exterior requerida em cada zona de ventilação. Esse valor pode ser encontrado na Tabela 3 da ABNT 16401-3 (2008) e depende do fator Z_{ae} que é definido pela equação abaixo:

$$Z_{ae} = \frac{V_z}{V_t} \quad (6)$$

Onde V_z é o valor da vazão eficaz corrigida e V_t representa a vazão total de ar insuflado para a zona, calculado na elaboração do projeto, em L/s.

3.4 Cálculo de carga térmica do ar de renovação

Para calcular a contribuição de carga térmica proveniente no ar exterior insuflado no ambiente de estudo, podemos aplicar a primeira lei da termodinâmica, que pode ser descrita através da equação abaixo (ÇENGEL, 2011).

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{saída} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) - \sum_{entrada} \dot{m} \left(h + \frac{\dot{V}^2}{2} + gz \right) \quad (7)$$

Onde:

\dot{Q} é a taxa de calor em W;

\dot{W} é o trabalho fornecido em W;

\dot{m} é a taxa mássica passando pelo volume de controle em kg/s;

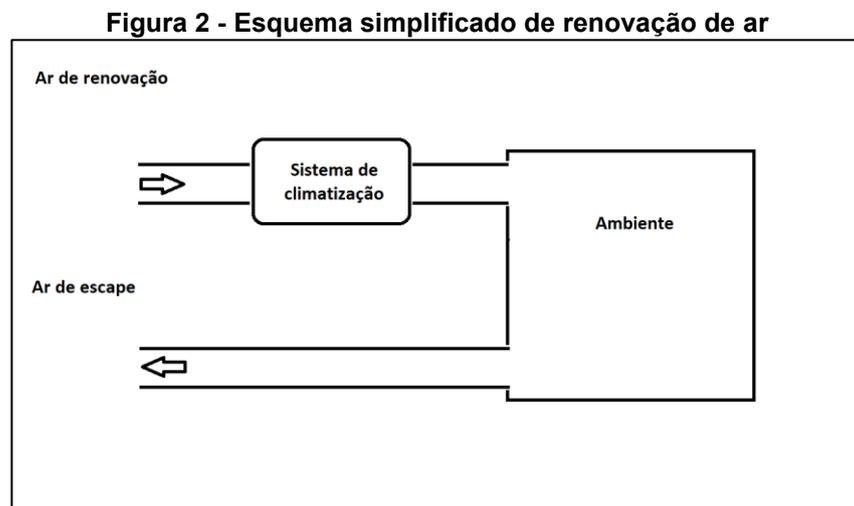
h é a entalpia em kJ/kg;

V é a velocidade em m/s;

z é a altura em m;

g é o valor da gravidade em m/s².

Para a avaliação da carga térmica de um sistema de climatização como o representado na Figura 2 pode-se utilizar como hipóteses a variação de energia cinética e potencial desprezíveis e potência mecânica nula (SIMÕES-MOREIRA; NETO, 2019).



Fonte: Brito; Sodr ; Almeida (2018)

Pode-se ent o reescrever a Equa o (7) como se segue.

$$\dot{Q}_{ambiente} = \dot{m}_{ar}(h_{renova o} - h_{escape}) \quad (8)$$

Em que:

$\dot{Q}_{ambiente}$   taxa de calor entrando no ambiente em W;

\dot{m}_{ar}   a taxa m ssica de entrada de ar no ambiente em kg/s;

$h_{renova o}$   a entalpia do ar de renova o em kJ/kg_{da};

h_{escape}   a entalpia do ar de escape em kJ/kg_{da}.

De acordo com *ASHRAE Handbook Fundamentals* (2017), A entalpia de uma mistura de gases perfeitos é igual à soma das entalpias parciais individuais dos componentes.

Portanto, a entalpia específica do ar úmido pode ser escrita como:

$$h = h_{da} + W \cdot h_g \quad (9)$$

Onde:

h_{da} é a entalpia específica do ar seco em kJ/kg_{da}

h_g é a entalpia específica para vapor de água saturado em kJ/kg_w

W é a razão de umidade em kg_w/kg_{da}

A norma sugere ainda uma aproximação para esses valores de entalpia, como demonstrado nas equações abaixo:

$$h_{da} \approx 1.006t \quad (10)$$

$$h_g \approx 2501 + 1.86t \quad (11)$$

Onde o valor t refere-se à temperatura de bulbo seco em °C. A entalpia específica do ar úmido em kJ/kg_{da} pode então ser escrita como:

$$h = 1.006t + W(2501 + 1.86t) \quad (12)$$

Onde a razão de umidade é definida pela *ASHRAE Handbook Fundamentals* (2017), como:

$$W = \frac{[(2501 - 2.326t)W_s^* - 1.006(t - t^*)]}{[2501 + 1.86t - 4.186t^*]} \quad (13)$$

Em que:

t^* é a temperatura de bulbo úmido em °C.

W_s^* é a razão de umidade na temperatura de saturação.

A razão de umidade de saturação (W_s) é definida como:

$$W_s = 0.621945 \frac{p_{ws}}{p - p_{ws}} \quad (14)$$

Onde:

p_{ws} é pressão de vapor da água em ar úmido saturado em kPa

p é a pressão em kPa.

Nesse trabalho, com objetivo de automatizar o cálculo da razão de umidade, foi utilizada a *API psychrolib* que retorna o valor de razão de umidade com base na temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e pressão atmosférica.

A aplicação de *API psychrolib* foi viabilizada por um algoritmo desenvolvido utilizando a linguagem de programação *Python*.

3.5 Cenários Hipotéticos

Foram selecionados três cenários hipotéticos, sendo eles uma área do público de um banco, uma sala de aula e um salão de refeições de um restaurante.

Para cada um dos cenários foram estipulados valores mínimos e máximos de vazão de ar total insuflado (V_t) por zona de ventilação, assim como a área de cada zona de ventilação e o número de pessoas que a ocupam, além do número máximo de pessoas que ocupam simultaneamente o cenário definido.

A Tabela 2 representa os valores referentes ao cenário de uma área de público de um banco que possui três zonas de ventilação com uma mistura de ar exterior e ar recirculado sendo insuflado.

Tabela 2 - Banco (área do público)

Zona de ventilação	V_t máximo (L/s)	V_t mínimo (L/s)	Área ocupada (m ²)	Número de pessoas
A	200	100	10	5
B	400	250	40	20
C	200	150	20	10

Total	800	-	70	35
Máximo simultâneo	-	-	-	25

Fonte: Autoria própria

A Tabela 3 representa os valores definidos para o cenário de uma sala de aula com uma única zona de ventilação.

Tabela 3 - Sala de aula

Zona de ventilação	V _t máximo (L/s)	V _t mínimo (L/s)	Área ocupada (m ²)	Número de pessoas
A	400	250	40	31
Total	400	-	40	31
Máximo simultâneo	-	-	-	25

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 4 estão dispostos os dados referentes a um salão de refeições de um restaurante contendo duas zonas de ventilação e com ar insuflado constituído de 100% de ar exterior.

Tabela 4 - Restaurante (salão de refeições)

Zona de ventilação	V _t máximo (L/s)	V _t mínimo (L/s)	Área ocupada (m ²)	Número de pessoas
A	200	100	20	10
B	300	150	30	20
Total	500	-	50	30
Máximo simultâneo	-	-	-	20

Fonte: Autoria própria

Por fim, foram coletados da Tabela 1 da norma ABNT NBR 16401-3 (2008) os valores de vazão por pessoa (F_p) e de vazão por área útil ocupada (F_a) para cada um dos cenários propostos de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Dados de vazão por ambiente

Ambiente	Nível 1		Nível 2		Nível 3	
	F _p (L/s*peessoa)	F _a (L/s*m ²)	F _p (L/s*peessoa)	F _a (L/s*m ²)	F _p (L/s*peessoa)	F _a (L/s*m ²)
Banco (Sala do público)	3,8	0,3	4,8	0,4	5,7	0,5
Sala de aula	5	0,6	6,3	0,8	7,5	0,9
Restaurante (salão de refeições)	3,8	0,9	4,8	1,1	5,7	1,4

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16401-3 (2008).

Os valores apresentados na Tabela 5 são utilizados na Equação (1) do procedimento de cálculo apresentado nesse trabalho.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos pelo procedimento de análise das normas de qualidade do ar vigentes em comparação com novos estudos cálculo de vazão de ar e cálculo de carga térmica apresentado na seção de métodos, assim como a sobre os meios de contaminação por agentes infecciosos.

4.1 Análise de normas vigentes sobre qualidade do ar interior

As principais orientações quanto à qualidade do ar e renovação de ar coletadas das normas presentes no Quadro 1 são apresentadas a seguir em comparação a referências mais recentes.

4.1.1 Quanto à poluentes químicos

A resolução 9 da Anvisa (2003) apresenta duas referências para contaminantes químicos:

- Presença de dióxido de carbono menor ou igual a 1000 ppm, como indicador de renovação de ar externo.
- Presença de aerodispersóides totais menor ou igual a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.1.2 Quanto à poluentes biológicos

A NR 15 classifica os ambientes de trabalho em médio e máximo quanto ao risco oferecido pelo ambiente enquanto a NR 32 classifica os agentes biológicos quanto ao risco à saúde humana.

A resolução 9 da Anvisa (2003) apresenta o valor máximo recomendado como sendo menor ou igual a 750 ufc/ m^3 de fungos, para a relação de quantidade de fungos no ambiente interior pela presença de fungos no ambiente exterior menor ou igual a 1,5.

4.1.3 Quanto à umidade

A resolução 9 da Anvisa (2003) recomenda que o valor máximo de umidade relativa seja de 65%, sendo que no verão a faixa recomendável para ambientes internos é de 40% a 65%, e para o inverno a faixa recomendável é de 35% a 65%.

Esta faixa de umidade reduz a viabilidade viral associados a aerossóis, entretanto, isso não se mostra verdade para o SARS-CoV-2, onde a redução da umidade relativa para uma faixa de 40% a 60% apresenta pouco ou nenhum efeito para a viabilidade do SARS-CoV-2 (DOREMALEN et al, 2020).

4.1.4 Quanto à temperatura

A ABNT NBR 16401-2 (2008) apresenta um procedimento para determinação de carga térmica de ambientes e uma adequação de parâmetros relacionados ao conforto térmico, envolvendo também variáveis como umidade e velocidade do ar. O procedimento apresentado é baseado na norma ASHRAE Standard 55.

4.1.5 Quanto à concentração de oxigênio

A NR 15 define que a concentração mínima de oxigênio deve ser de 18% em volume. Concentrações abaixo desta caracterizam risco grave ou iminente.

4.1.6 Quanto à velocidade do ar

A resolução 9 da Anvisa (2003) recomenda que a velocidade do ar no nível do piso deverá variar entre 0,025 m/s e 0,25 m/s.

4.1.7 Quanto à renovação de ar

A resolução 9 da Anvisa (2003) define 27 m³/hora* pessoa como valor mínimo de taxa de renovação de ar.

A *World Health Organization* (2021) recomenda o valor de referência apresentado na norma BS EN 16798-1 (2020) de 10 L/s* pessoa, que é superior ao valor de 7,5 L/s* pessoa recomendado pela Anvisa.

4.1.8 Quanto à filtragem

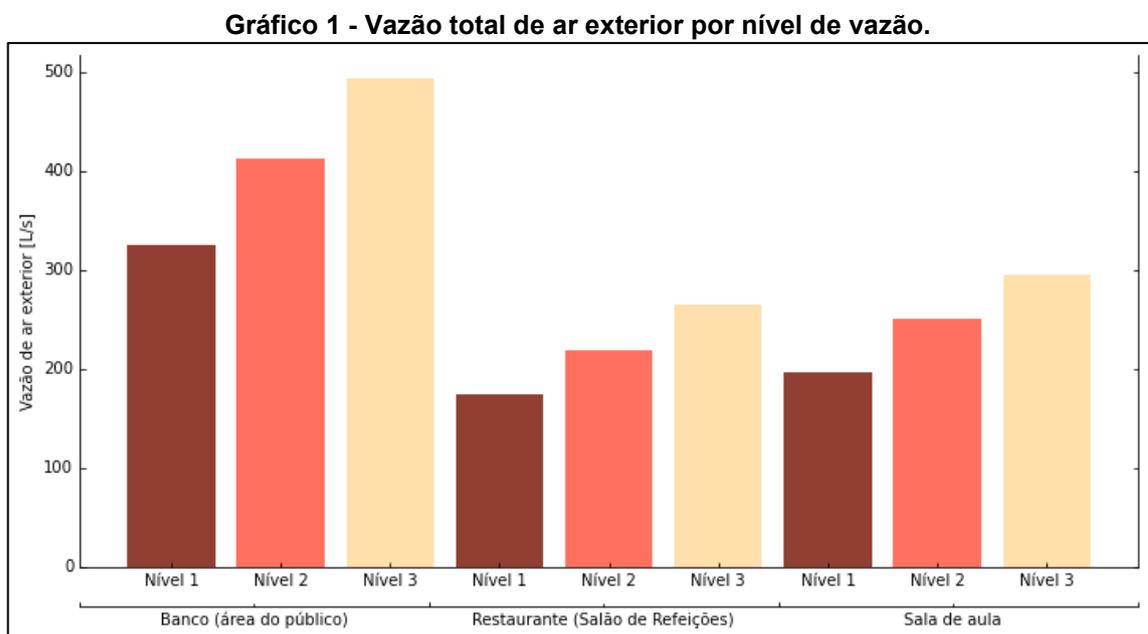
A resolução 9 da Anvisa (2003) define a classe G3 de filtro como a mínima para ambientes climatizados.

A *Federation of European heating, Ventilation and Air Conditioning Associations* (2021) recomenda o uso de filtros das classes G4/M5 ou ISO coarse/ePM10.

4.2 Vazão de ar exterior e carga térmica

Para o cálculo da vazão de ar exterior seguindo o procedimento proposto da ABNT NBR 16401-3 (2008), os dados psicrométricos do ar exterior foram definidos, em uma primeira análise, como sendo na cidade de São Paulo de acordo com a Tabela 1.

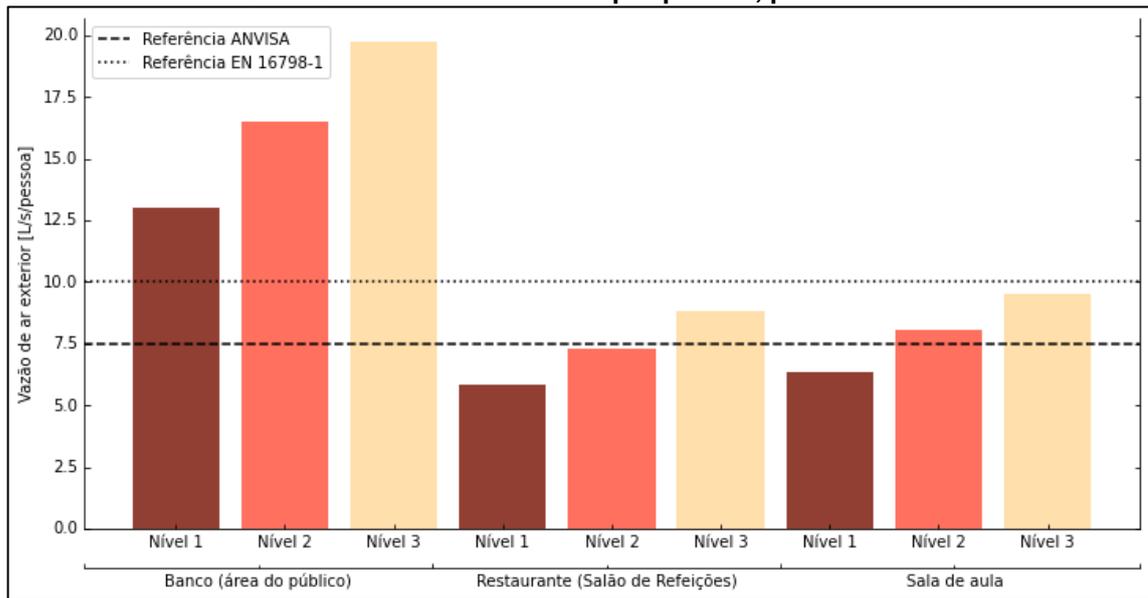
O cálculo de vazão de ar exterior foi realizado para cada um dos cenários propostos na seção 3.5 considerando distribuição de ar convencional de insuflação pelo teto e retorno por baixo. Os resultados estão representados no Gráfico 1.



Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 2 está representado os valores de vazão de ar exterior por pessoa para cada um dos cenários e níveis de vazão, bem como referências de vazão de ar exterior mínima por pessoa.

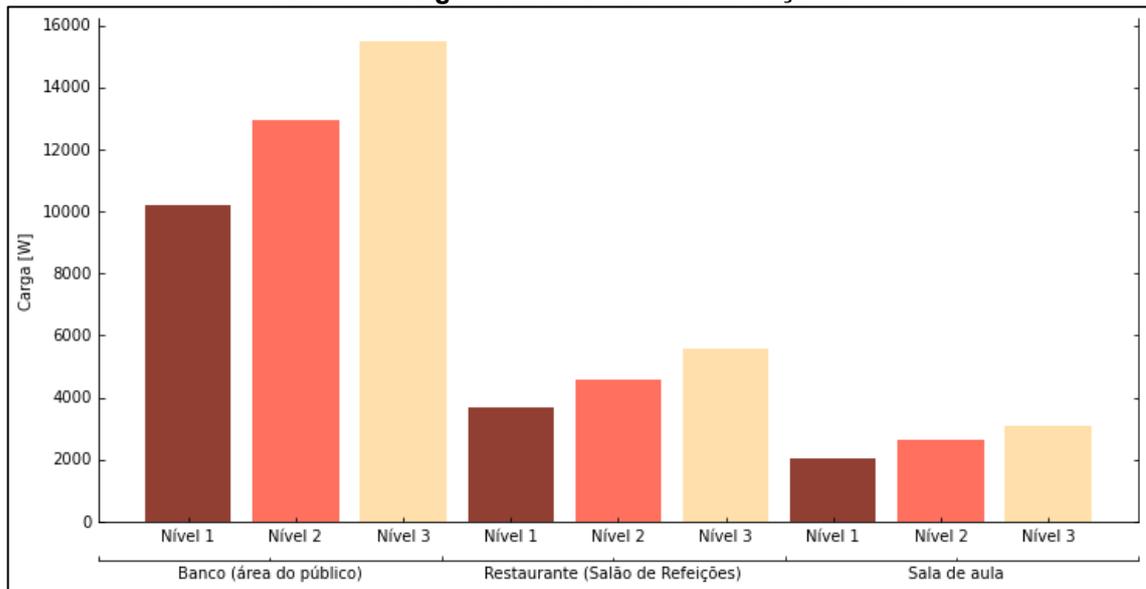
Gráfico 2 - Vazão total de ar exterior por pessoa, por nível de vazão.



Fonte: Autoria própria.

É possível verificar no Gráfico 2 que dois dos cenários avaliados (Restaurante e Sala de aula) não atingem o mínimo de vazão de ar exterior recomendado pela Anvisa para os primeiros níveis de vazão de ar exterior. Além disso, em comparação com a referência apresentada na norma EN 16798-1, o cenário Restaurante e o cenário Sala de aula não atingem o mínimo especificado para nenhum dos níveis de vazão de ar exterior presentes na norma ABNT NBR 16401-3.

No Gráfico 3 está representada a carga térmica associada a vazão de ar exterior insuflada no ambiente, tomando como referência a cidade de São Paulo presente na Tabela 1.

Gráfico 3 - Carga térmica devido a renovação de ar.

Fonte: Autoria própria.

Em uma primeira análise, fica evidente a discrepância entre o cenário Banco e os cenários Restaurante e Sala de aula. Esta diferença deve-se, principalmente, à área total das zonas de ventilação e à quantidade de pessoas presentes no cenário Banco que requer uma vazão de ar exterior superior aos demais cenários de acordo com o procedimento descrito na ABNT NBR 16401-2.

Na Tabela 6 estão presentes os valores de vazão e carga térmica da diferença entre a referência de renovação de ar presente na Resolução 9 da Anvisa em comparação com os três cenários propostos neste trabalho quando localizados na cidade de São Paulo conforme a Tabela 1.

Tabela 6 - Diferença de vazão de ar para a referência RE 9 Anvisa e carga térmica associada.

Cenário	Delta de vazão por pessoa (L/s*peessoa)	Delta de vazão exterior total (%)	Delta de Carga térmica (W)
Banco (Sala do público) – Nível 1	5,47	42,19	1.431,64
Banco (Sala do público) – Nível 2	8,99	54,53	2.352,29
Banco (Sala do público) – Nível 3	12,21	61,95	3.194,03
Sala de aula – Nível 1	-1,67	-28,64	-349,43
Sala de aula – Nível 2	-0,20	-2,79	-42,54
Sala de aula – Nível 3	1,34	15,13	279,68
Restaurante (salão de refeições) – Nível 1	-1,15	-18,08	-300,36
Restaurante (salão de refeições) – Nível 2	0,56	7,01	147,90

Restaurante (salão de refeições) – Nível 3	2,02	21,28	530,27
--	------	-------	--------

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 7 estão presentes os valores de vazão e carga térmica da diferença entre a referência de renovação de ar presente na norma EN 16798-1 em comparação com os três cenários propostos neste trabalho quando localizados na cidade de São Paulo conforme a Tabela 1.

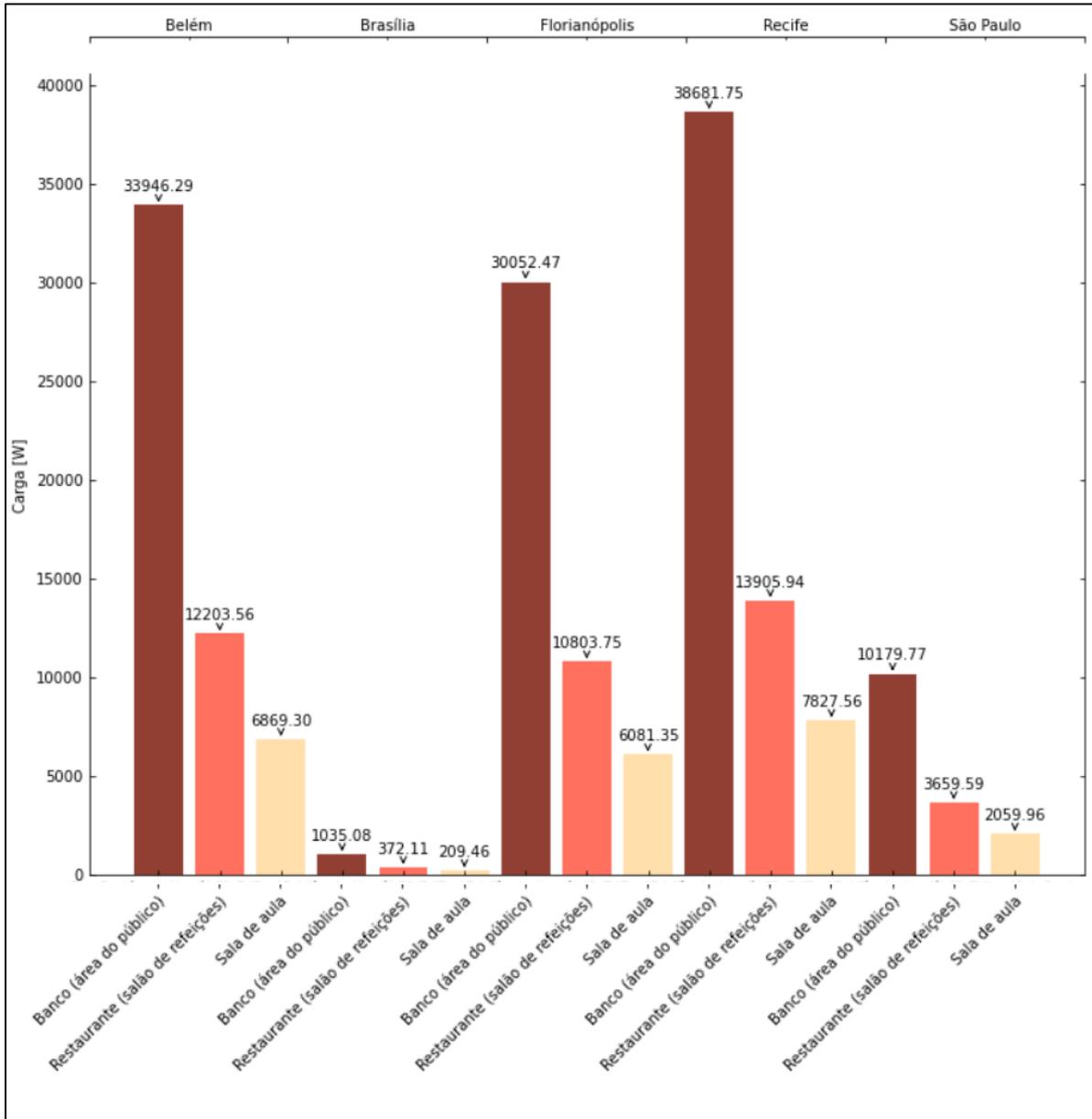
Tabela 7 - Diferença de vazão de ar para a referência EN 16798-1 e carga térmica associada.

Cenário	Delta de vazão por pessoa (L/s* pessoa)	Delta de vazão exterior total (%)	Delta de Carga térmica (W)
Banco (Sala do público) – Nível 1	2,97	22,92	777,77
Banco (Sala do público) – Nível 2	6,49	39,37	1.698,42
Banco (Sala do público) – Nível 3	9,71	49,27	2.540,16
Sala de aula – Nível 1	-4,17	-71,53	-872,53
Sala de aula – Nível 2	-2,70	-37,05	-565,64
Sala de aula – Nível 3	-1,16	-13,16	-243,41
Restaurante (salão de refeições) – Nível 1	-3,65	-57,44	-954,23
Restaurante (salão de refeições) – Nível 2	-1,93	-23,98	-505,97
Restaurante (salão de refeições) – Nível 3	-0,47	-4,96	-123,60

Fonte: Autoria própria

No Gráfico 4 é possível observar a contribuição para a carga térmica da vazão de ar exterior considerando os cenários propostos na seção 3.5 no Nível 1 de vazão de ar exterior descrito na ABNT NBR 16401-3 para as diferentes cidades presentes na Tabela 1.

Gráfico 4 - Carga térmica devido ao ar exterior insuflado para o nível 1 de vazão em diferentes cidades



Fonte: Autoria própria

A diferença entre os valores de carga térmica associada à vazão de ar exterior entre as cidades apresentadas deve-se principalmente à diferença de umidade dos seus respectivos climas que carregam carga latente na insuflação de ar exterior para os ambientes climatizados. Particularmente, para o cenário Banco, os altos valores de carga térmica se justificam pela vazão total de ar insuflado definida por projeto conforme apresentado na Tabela 2.

5 CONCLUSÃO

Considerando que na data da conclusão deste trabalho o mundo ainda se encontra em situação pandêmica, apesar de os casos de Covid-19 estarem em queda, ainda se conhece pouco sobre o comportamento deste vírus, que demonstrou até então um comportamento peculiar quando comparados a agentes infecciosos da mesma família. Portanto, o SARS-CoV-2 ainda é um assunto em discussão, com novas informações sendo publicadas constantemente, o que faz deste trabalho uma análise da situação atual, não servindo como guia para adoção de práticas de enfrentamento ao vírus.

Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho, permitem avaliar o alinhamento das normas reguladoras brasileiras que orientam quanto ao dimensionamento de sistemas de climatização com relação às recomendações para atenuar o contágio por Covid-19 em ambientes públicos, bem como comparar as orientações de normas brasileiras com normas internacionais.

Pode-se concluir, então, que mesmo em um cenário pré-pandemia, as referências brasileiras são menos conservadoras que referências norte americanas e europeias. Além disso, a principal norma brasileira para cálculo de vazão de ar exterior (ABNT NBR 16401-3) não consegue adequar os resultados dos procedimentos de cálculo a valores referência fornecidos pela Anvisa, como para o caso da renovação de ar.

Ademais, parâmetros conhecidos por influenciar a viabilidade de agentes infecciosos em suspensão no ar, como a umidade relativa, de acordo com os artigos analisados neste trabalho, não possuem impacto significativo para o SARS-CoV-2.

Ao avaliar as taxas de renovação de ar, foi possível verificar o aumento gradativo do impacto do aumento da renovação na carga térmica do ambiente, principalmente, ao definir como referência os padrões fornecidos por normas europeias. Foi possível também calcular o *gap* de renovação de ar por pessoa obtido pelo procedimento contido na ABNT NBR 16401-3 quando comparado com a referência fornecida pela Anvisa e pela EN 16798-1.

Por fim, conclui-se que para ambientes quentes e úmidos o impacto energético do aumento de renovação de ar é significativamente superior.

Como sugestão para trabalhos futuros associados ao tema deste estudo, sugere-se:

- Avaliar o impacto de cada parâmetro necessário no procedimento de cálculo fornecido pela ABNT NBR 16401-3 no resultado de vazão de ar exterior total;
- Analisar a influência do posicionamento das saídas e entradas de ar em ambientes públicos de modo a reduzir o potencial de contágio de doenças infecciosas.
- Avaliar a qualidade do ar em ambientes internos através de dados de qualidade do ar em ambientes públicos por todo o Brasil.

REFERÊNCIAS

PENG ZHOU et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. **Nature**, Vol 579, p. 1, jan. 2020.

World Health Organization. **WHO global air quality guidelines**. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva. p. 2, 2021.

CDC. Early Release - COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. **Emerging Infectious Diseases journal**. Vol. 26, N 7. jul. 2020. Disponível em: <https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0764_article#tnF1>. Acesso em: 12 out. 2021.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Nota Técnica Nº3: Utilização dos sistemas de climatização em portos, aeroportos e passagens de fronteiras durante a pandemia da COVID-19**. 2020.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). **Resolução Nº 9**. 10 jan. 2003.

BRITO; SODRÉ; ALMEIDA. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 5, out. 2018.

World Health Organization. **WHO global air quality guidelines**. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. p 9-30. 2005.

COSTA et al., 2016; ALENCAR et al., 2020 apud SANTANA et al. Principais microrganismos associados as infecções respiratórias e seus agravos a saúde: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. 4, dez. 2020.

CDC. **Scientific Brief: SARS-CoV-2 Transmission**. 7 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/sars-cov-2-transmission.html>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

WANG et al. Airborne transmission of respiratory viruses. **Science**, vol 373 p. 1-3, ago. 2021.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). **Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2010.

SILVA; FERNANDES. Discusión del síndrome del edificio enfermo en trabajadores de la salud. **Revista Cubana de Enfermería**, Cuba, v. 36, n. 2, p. 3, 2020.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais de unitários Parte 1: Projetos e instalações**. Rio de Janeiro, 2008.

D'AVILA, 2019 apud FRANCHI et al. **Gestão da Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar**. 2019. Dissertação (Mestrado) – o Programa de Dupla Diplomação com a Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Escola Superior Agrária de Bragança. Bragança, 2019.

CAMPOS; GUEDES. **Relatório Técnico: Impactos da Pandemia de COVID-19 sobre Sistemas de Ar Condicionado e Climatização**. Governador Valadares, p. 2, dez. 2021.

CTPP (Comissão Tripartite Paritária Permanente). **NR-09**: Avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. 1978.

CTPP (Comissão Tripartite Paritária Permanente). **NR-15**: Atividades e operações insalubres. 1978.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12543**: Equipamentos de proteção respiratória — Classificação. Rio de Janeiro, 1999.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). **Standard 62**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA, 2001.

CTPP (Comissão Tripartite Paritária Permanente). **NR-32**: Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde. 2005.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **16401-2**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais de unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **16401-3**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais de unitários Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). **Standard 55**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA, 2010.

ISO (International Organization for Standardization). **ISO 16890-1**: Air filters for general ventilation - Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM). Genebra, 2016.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). **Standard 170**: Ventilation of Health Care Facilities. Atlanta, GA, 2017.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). **Standard 62.1**: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA, 2017.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). **Handbook of fundamentals**. Inch-Pound. ed. Atlanta: Amer Society of Heating, 2017.

REHVA (Federation of European heating Ventilation and Air Conditioning Associations). **REHVA COVID-19 guidance document**. 2021.

Doremalen et al, 2020. **Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1**. N Engl J Med. 2020.

British Standards Institution. **BS EN 16798-1:2019**: Energy performance of buildings. 2020.