



XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CARGA LATENTE NO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS EM CLIMAS ÚMIDOS COM ALTAS TAXAS DE RENOVAÇÃO DE AR EM RAZÃO DO CORONAVÍRUS.

PAPER 06

RESUMO

Um dos aspectos mais importantes no projeto de um sistema de climatização é a avaliação da carga térmica dos ambientes climatizados, que sofre impacto de diversos parâmetros. Dentre estes parâmetros, estão as condições de retorno do ar e do ar exterior na entrada das serpentinas de resfriamento (temperatura de bulbo seco, umidade absoluta, velocidade, vazão volumétrica, etc.). Estas condições são afetadas, em grande parte, pelas condições climáticas do local onde o sistema de climatização está instalado, principalmente em climas úmidos e quentes e pelas elevadas taxas de ar exterior em função de reduzir os riscos de transmissão do coronavírus em ambientes climatizados.

Este artigo propõe analisar o impacto da carga térmica latente em serpentinas de resfriamento de expansão direta e indireta, localizadas em climas quentes e úmidos. Com base nesta análise, serão propostas alternativas para mitigação desta carga latente e o seu impacto no desempenho energético do sistema de climatização.

Palavras-chave: Carga Latente. Desempenho Energético. Corona virus

ABSTRACT

One of the most important aspects in the design of an HVAC system is the evaluation of the thermal load of the HVAC systems, which is impacted by several parameters. Among these parameters, there are the conditions of the air from the conditioned rooms and the outside air at the inlet section of the cooling coils (dry bulb temperature, absolute humidity, speed, volumetric flow, etc.). These conditions are largely affected by the climatic conditions of the place where the air conditioning system is installed, mainly in humid and hot climates, and by the high rates of outdoor air to reduce the risks of transmission of the coronavirus in acclimatized environments.

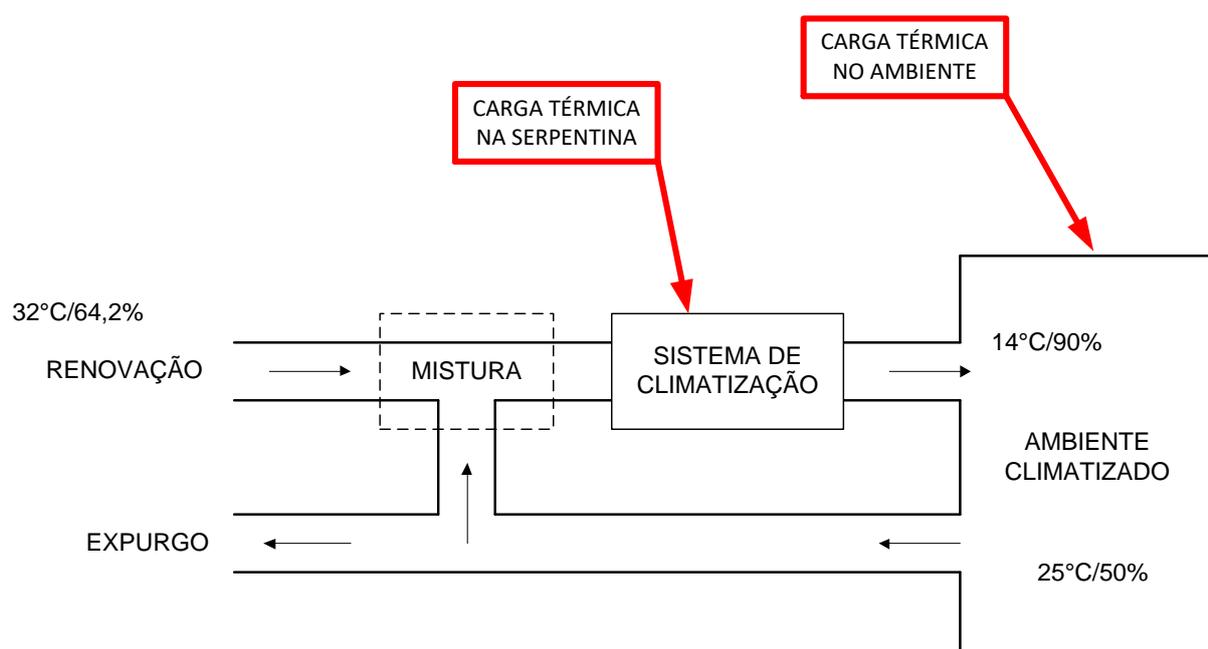
This article proposes to analyze the impact of the latent thermal load on cooling coils of direct and indirect expansion, located in hot and humid climates. Based on this analysis, alternatives will be proposed to mitigate this latent load and its impact on the energy performance of the HVAC system.

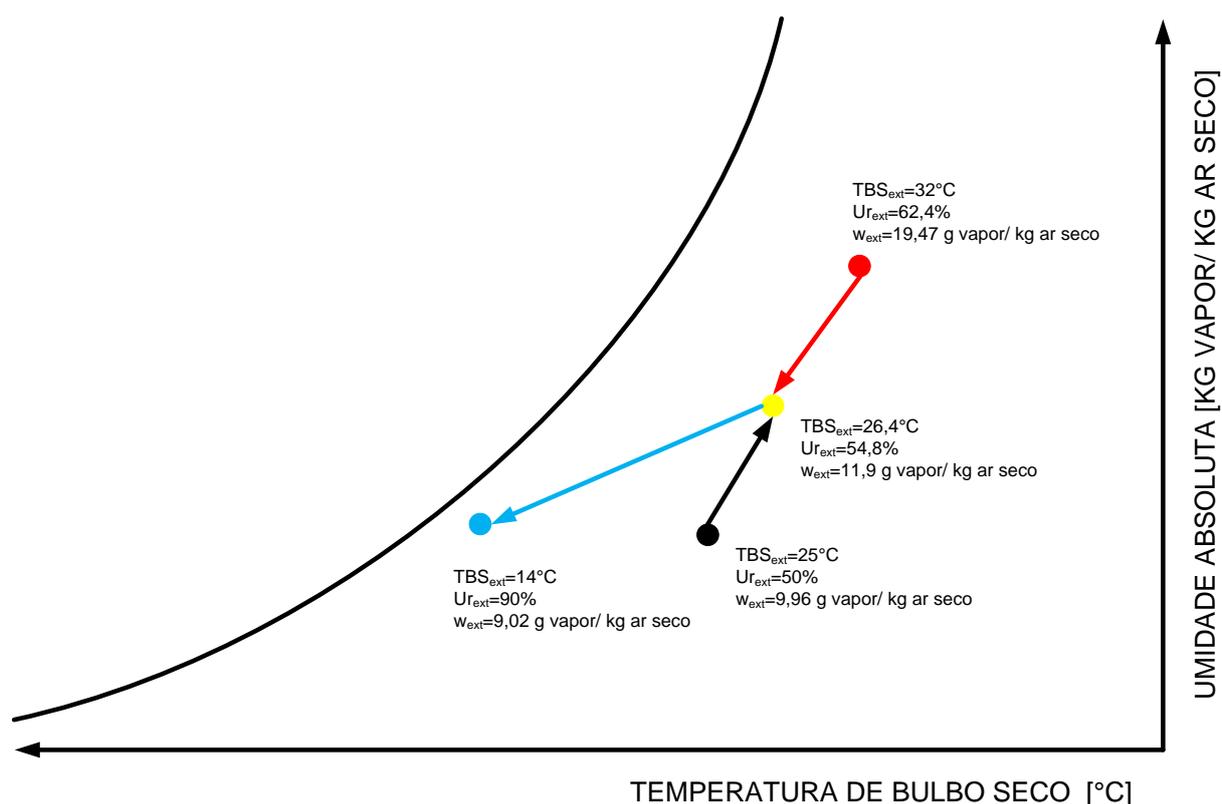
Keywords: Latent load. Energy Performance. Corona vírus.

1. AVALIAÇÃO DA CARGA TÉRMICA

Pode-se dividir a carga térmica em um sistema de climatização em duas categorias: a carga térmica no ambiente e na serpentina. A primeira está associada à somatória das cargas térmicas provenientes das diversas fontes de ganho de calor latente e sensível que devem ser retirados para manter a

temperatura de um ambiente controlada (Cap. 18 - ASHRAE, 2017). A segunda está associada a carga térmica sensível e latente que deve ser retirada na serpentina de um ou mais ambientes climatizados atendidos pela serpentina. Neste caso, vamos utilizar a Figura 1 para analisar esta carga térmica, que é o foco do presente trabalho utilizando dados de projeto para a cidade de Salvador (ABNT, 2008), que será definida como a localização geográfica neste trabalho devido as características do seu clima quente e úmido. Para ilustração, foi assumido que não há perdas e/ou ganhos de calor nas tubulações do sistema de insuflamento e de retorno de ar no sistema analisado. Para as condições externas de Salvador no verão tem-se uma temperatura de 32°C com 64,2% de umidade relativa e, para efeito de análise, foi definida uma condição de insuflamento de 14° e 90% de umidade relativa e como condição do ambiente climatizado 25°C e 50%.





Como pode-se observar que a parcela de carga latente na serpentina é bastante significativa (37,5%) e que este resultado é apenas ilustrativo de uma condição de operação. Este impacto é transferido para o consumo do sistema de climatização, impondo um aumento significativo do consumo de energia na edificação. Para uma avaliação mais adequada é necessário avaliar o comportamento da carga térmica na serpentina ao longo do ano. Para tanto, lançou-se mão da ferramenta de simulação Energy Plus versão 9.0 (DOE, 2020) junto com a ferramenta Sketchup 2017 (NREL, 2018) e plug in Open Studio 3.0 (Trimble, 2018) para construir um modelo de edificação comercial com 20 andares com as seguintes configurações:

- Área de piso por andar: 1032 m² (formato quadrado de 32 m);
- Área envidraçada: 40% da área da parede com coeficiente global de transferência de calor de 4,26 w/m².K e fator solar 0,26;
- Paredes externas com coeficiente global de transferência de calor de 0,984 W/m².K;
- Teto com coeficiente global de transferência de calor de 0,283 W/m².K;
- Densidade de iluminação: 10,6 W/m²;
- Densidade de equipamentos (cargas de tomada): 7,6 W/m²;
- Densidade de ocupação de pessoas: 5m²/pessoa;
- Sistema de água gelada com resfriador (COP nominal=5,5) com condensação a água;

Os valores aqui apresentados foram definidos com base nas diretrizes da norma ASHRAE 189.1 (ASHRAE, 2020a), que fornece parâmetros para projeto de edificações sustentáveis e energia zero. Dessa forma, os níveis de consumo aqui apresentados já são comparáveis a edificações de alto desempenho com perfis típicos de operação de uma edificação comercial. A figura 2 apresenta o comportamento do consumo de energia desta edificação ao longo de uma no típico para dos dados climáticos da cidade de Salvador. Já a figura 3, apresenta a distribuição da temperatura de bulbo seco média mensal para a cidade de Salvador bem com a distribuição da umidade relativa média para a mesma cidade. Pode-se verificar que o perfil de umidade relativa é bastante alto, o que confere um aumento significativo da carga latente para o sistema de climatização.

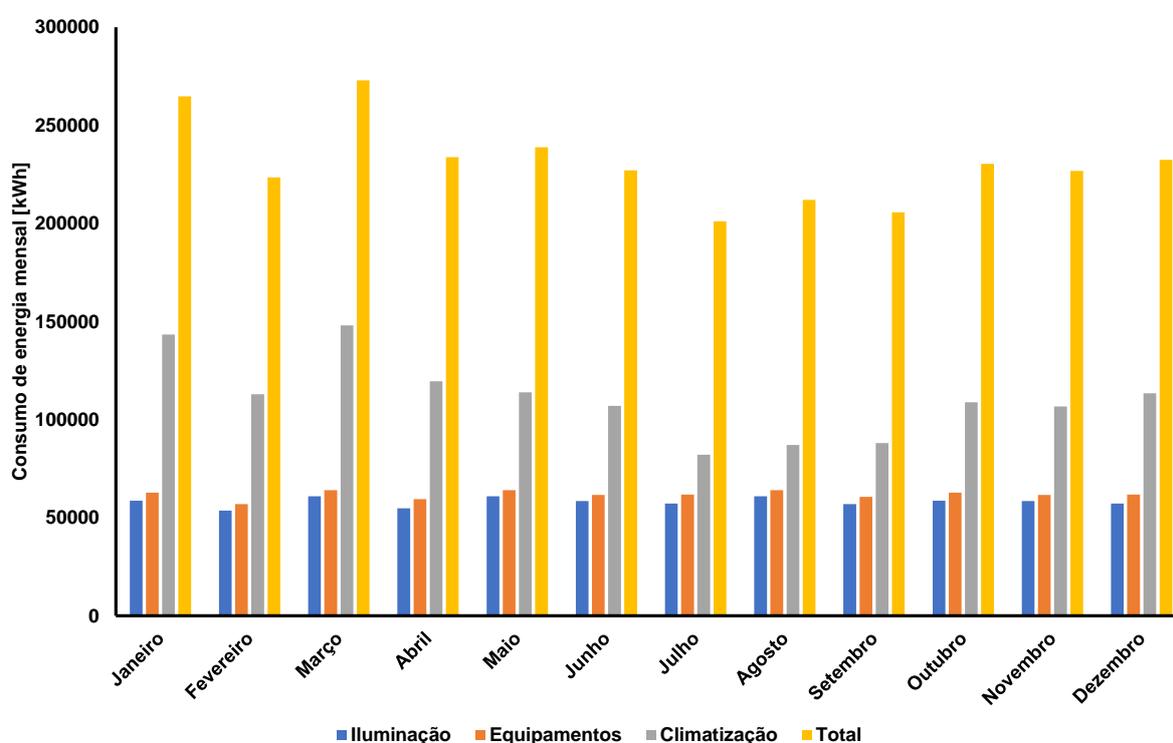


Figura 2 Perfil de consumo de energia de edificação para o clima típico da cidade de Salvador.

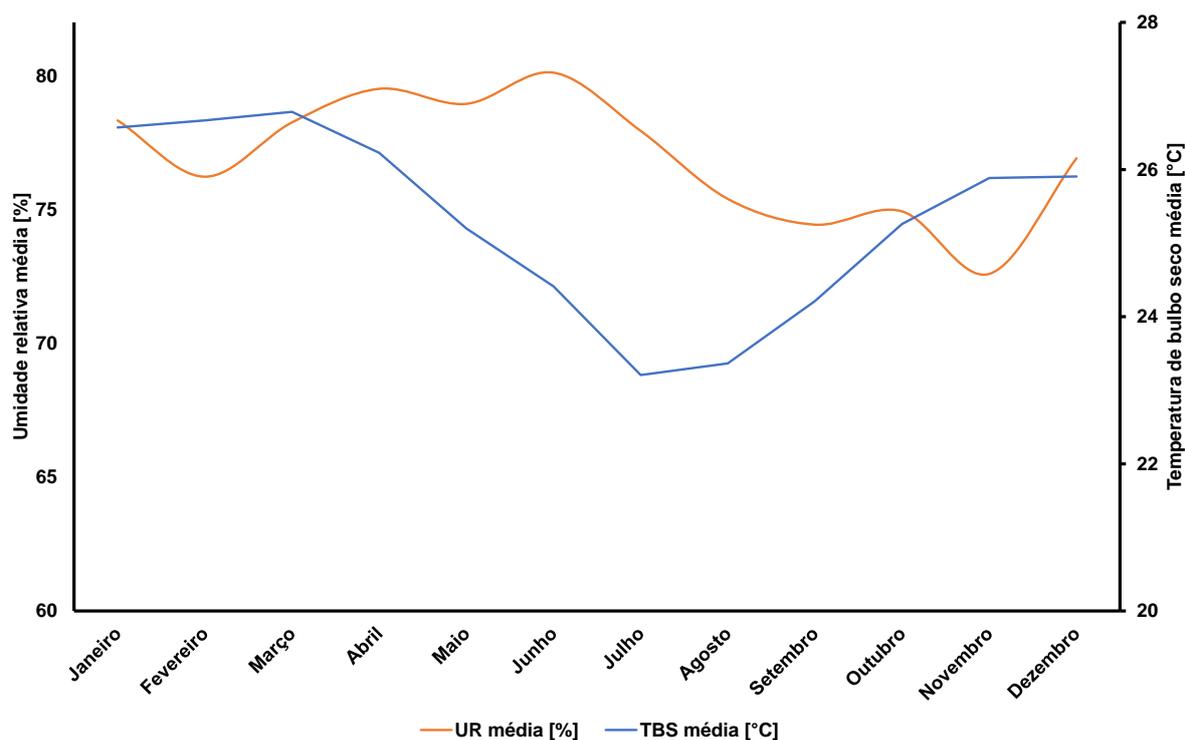


Figura 3. Distribuição da temperatura de bulbo seco média e da umidade relativa média na cidade de Salvador.

2 AÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO

Dentre as diversas ações que têm sido analisadas para a mitigação da contaminação de vírus e bactérias devido a pandemia causada pelo aparecimento do SARS COVID 19, o aumento das taxas de renovação de ar nos ambientes climatizados tem sido cogitado (ASHRAE, 2020b). Neste caso, no modelo da edificação aqui analisado foram implementados diferentes níveis de renovação de ar no modelo aqui apresentado com base nas definições apresentadas na norma NBR 16401 (ABNT, 2008) para edificações de alta densidade, a saber:

- Nível 1: 2,5 L/s*peessoa e 0,3 L/s*m²
- Nível 2: 3,1 L/s.pessoa e 0,4 L/s.m²;
- Nível 3: 3,8 L/s.pessoa e 0,5 L/s.m²;
- ANVISA: 27 m³/h.pessoa equivalente a 7,5 L/s.pessoa;
- Nível para diferencial de 500 ppm: 9,5 L/s.pessoa

Deve-se ressaltar que o último nível se refere ao valor para um diferencial de concentração de CO₂ em relação ao exterior de 500 ppm no ambiente interior, que está de acordo com os novos critérios sugeridos para a versão revisada da norma NBR 16.401. Para estes níveis de renovação de ar, foram

avaliados o percentual da carga latente média e a concentração de CO₂, sendo que as figuras 4 e 5 apresentam estes dados para um dia típico de ocupação da edificação. No caso dos valores avaliados de concentração de CO₂, foi definido que a concentração de CO₂ no exterior da edificação é de 400 ppm e a geração de CO₂ pelos ocupantes é de 0,000005 m³/s (0,0000000382 m³/s.W), que é o valor padrão utilizado na norma ASHRAE 62 (ASHRAE, 2019). Deve-se ressaltar que o uso do nível de CO₂ foi utilizado como indicador já consolidado para avaliação da qualidade do ar interior, mas que não deve ser o único parâmetro a ser considerado.

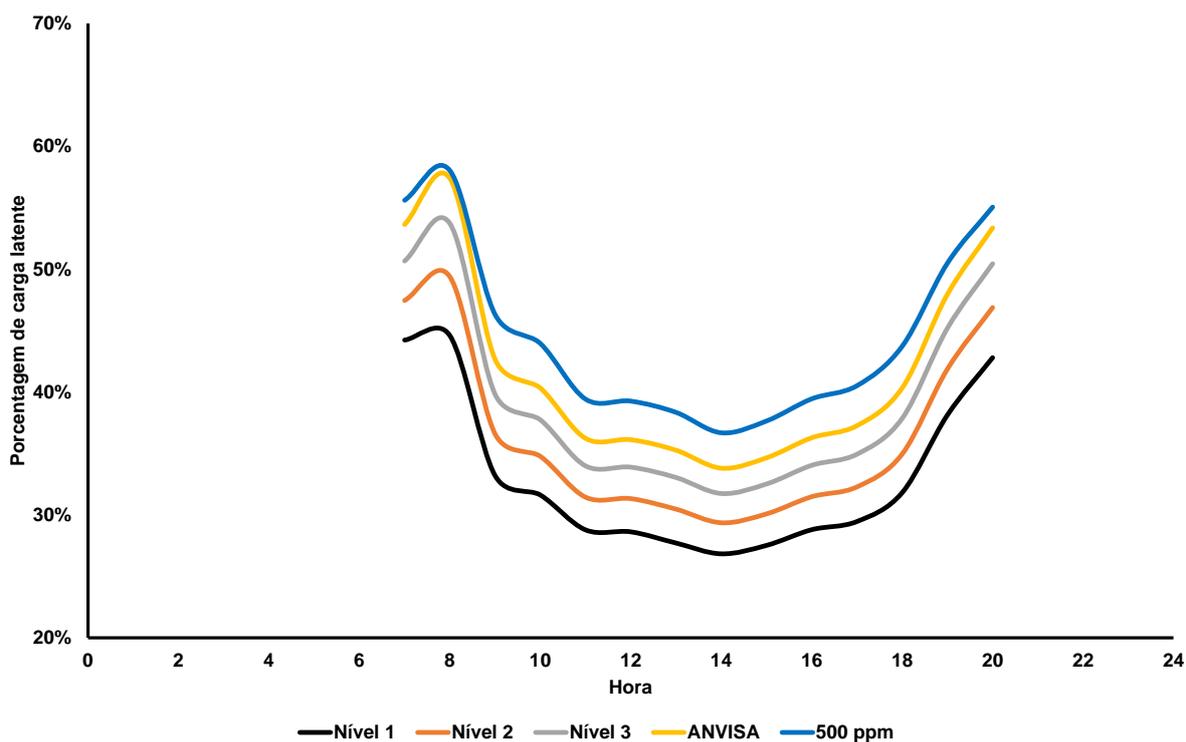


Figura 4. Distribuição percentual de carga latente em um dia típico de operação.

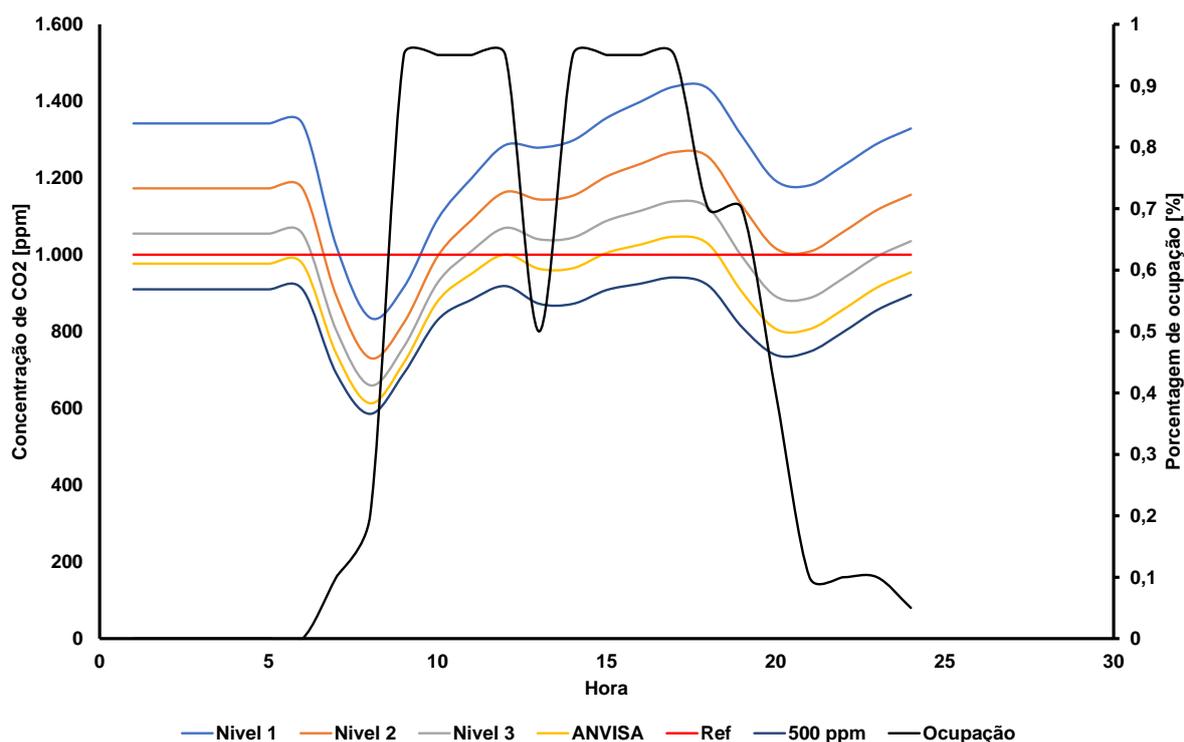


Figura 5. Concentração de CO₂ em um dia típico de operação para diferentes níveis de renovação de ar e o percentual de ocupação da edificação.

Analisando a figura 4 pode-se observar que o percentual da carga latente aumenta linearmente com o aumento da taxa de renovação em função do aumento de massa de vapor de água (umidade absoluta) proveniente do ar exterior. Na figura 5, verifica-se que para todos os níveis de renovação de ar, em um dia típico, há uma concentração maior antes do início da operação do sistema de climatização (06:00), que se reduz assim que o sistema é acionado. Ao longo do dia, esta concentração aumenta em função do aumento de ocupação quando se compara com a curva de ocupação apresentada. Observa-se também que para os níveis 1, 2, e 3 de renovação de ar sugeridos pela NBR 16401, a concentração de CO₂ fica boa parte do tempo acima do limite 1000 ppm enquanto para o nível estipulado pela ANVISA, os níveis de CO₂ ficam abaixo ou próximos do limite de ppm. Apenas com a aplicação do nível de renovação de ar para um diferencial de 500 ppm (9,5 L/s*peessoa) é que se tem níveis de concentração de CO₂ abaixo do limite 1000 ppm.

3. PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA

Com o objetivo de mitigar o impacto de aumento de consumo de energia na edificação devido ao aumento do nível de renovação de ar, foi proposto o uso de sistema dedicado de tratamento de ar externo com roda entálpica

(sigla em inglês: DOAS) com recuperação de calor com duas configurações: sem e com serpentinas de resfriamento/aquecimento após a roda entálpica. Um esquema simplificado das duas configurações é apresentado na figura 6(a) e (b).

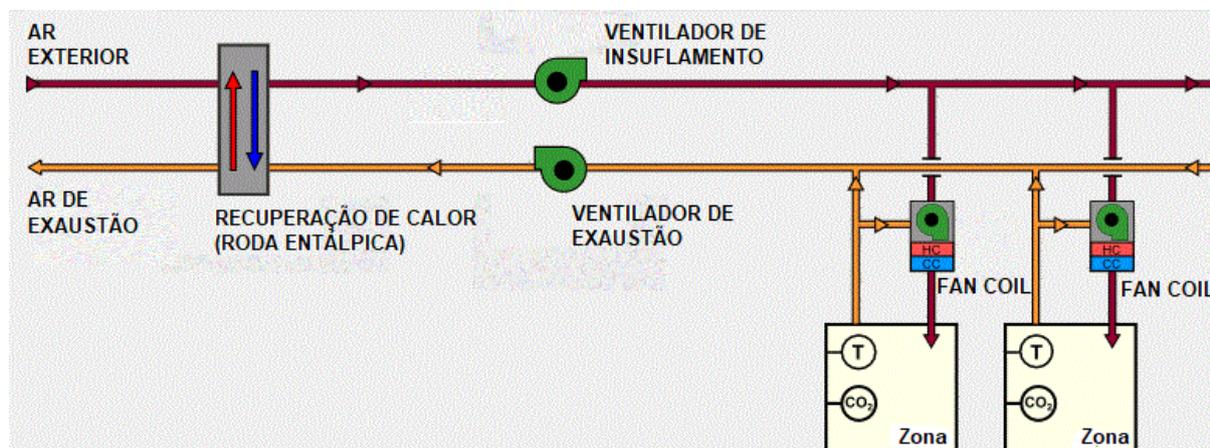


Figura 6(a). Esquema simplificado do sistema dedicado de tratamento de ar externo sem serpentina de resfriamento/aquecimento.

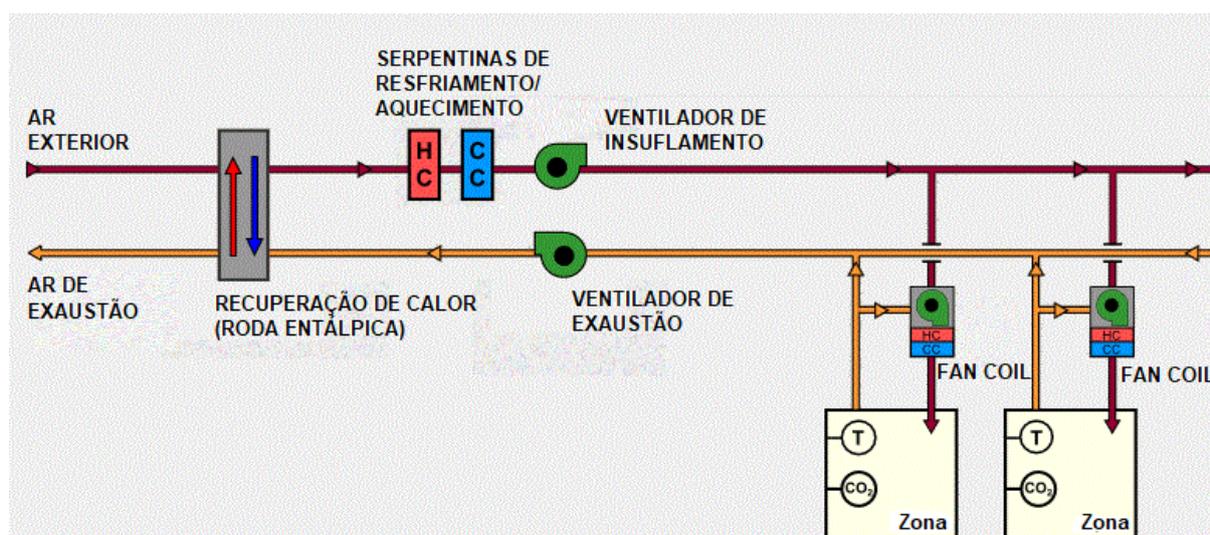


Figura 6(a). Esquema simplificado do sistema dedicado de tratamento dedicado de ar externo com serpentina de resfriamento/aquecimento.

Utilizando o programa HAP Hourly Analysis Program, versão 5.11 (Carrier, 2021), foi implementado o sistema de climatização da edificação analisada e procedeu-se a inclusão do sistema de tratamento de ar externo. A Tabela 1 mostra uma comparação do consumo anual dos 03 sistemas aqui analisados, a saber:

- Sistema 1: central de água gelada convencional;

- Sistema 2: central de água gelada com sistema dedicado de tratamento de ar sem serpentina de resfriamento/aquecimento
- Sistema 3: central de água gelada com sistema dedicado de tratamento de ar com serpentina de resfriamento/aquecimento

O objetivo de se incluir uma serpentina de resfriamento e uma de aquecimento foi visando promover um maior controle dos níveis de temperatura a serem fornecidas para as unidades de tratamento de ar.

Tabela 1. Comparação do consumo anual de energia para os sistemas 1, 2 e 3.

Sistema	Nível de renovação de ar				
	Nível1 (kWh)	Nível 2 (kWh)	Nível 3 (kWh)	ANVISA (kWh)	500ppm (kWh)
Sistema 1	2.668.470	2.812.955	2.965.118	3.127.101	3.388.837
Sistema 2	2.405.814	2.478.477	2.555.952	2.641.951	2.776.852
Sistema 3	2.530.036	2.477.298	2.555.151	2.641.803	2.778.049
Sistema	Nível de renovação de ar				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	ANVISA	500ppm
Sistema 1	---	---	---	---	---
Sistema 2	9,8%	11,9%	13,8%	15,5%	18,1%
Sistema 3	5,2%	11,9%	13,8%	15,5%	18,0%

Verifica-se que o aumento nos níveis de renovação de ar promove aumentos no consumo anual de energia do sistema de climatização convencional de 5 a 27%. Já para os sistemas com tratamento de ar externo, estes aumentos

ficam entre 3 e 15%. Observa-se também que a redução do consumo anual de energia promovido pela aplicação do sistema de tratamento de ar externo aumenta com o aumento do nível de renovação de ar e com valores entre 5,2 a 18,1%, havendo poucas diferenças de redução se em relação ao uso das serpentinas de resfriamento e aquecimento.

Os sistemas de centrais com tratamento dedicado de ar externo sem serpentina de resfriamento/aquecimento (Sistema 2) permitem que a unidade resfriadora (*chiller*) tenha uma redução da sua capacidade. Dessa forma, o valor do investimento inicial é menor que o valor do sistema convencional, tornando o uso de DOAS bastante atrativo do ponto de vista econômico, como mostra a Tabela 2. No caso do sistema 3 (sistema de tratamento dedicado de ar externo com serpentina de resfriamento/aquecimento), o investimento inicial é mais alto que no sistema 1 pois, apesar de também reduzir a capacidade da unidade resfriadora, exige a instalação de sistemas de dutos adicionais e aumento das capacidades dos ventiladores, fazendo com que o tempo de retorno de investimento seja muito elevado (em alguns casos acima de 10 anos).

Tabela 2. Redução do custo de instalação e de operação do sistema de dedicado de tratamento de ar externo (Sistema 2) em relação a um sistema de climatização convencional (Sistema 1).

Nível de renovação	Redução do custo de instalação [%]	Redução do custo de operação [%]
Nível 1	2,2	9,8
Nível 2	2,2	11,9
Nível 3	6,2	13,8
ANVISA	9,9	15,5
500 ppm	15,1	18,1

4. CONCLUSÕES

Este artigo procurou explorar o impacto do aumento do nível de renovação

de ar em um edifício comercial situado na cidade Salvador (clima quente e úmido). Verificou-se que, devido as condições climáticas do local, o nível de carga térmica latente nas serpentinas aumentava significativamente com o aumento da renovação de ar (27 a 58%). Devido a este aumento de carga térmica latente, observou-se também um aumento do consumo anual de energia do sistema central de água gelada convencional (5 a 27%). Dessa forma, foi avaliada o impacto da implantação de um sistema dedicado de ar externo que possibilitou a redução do consumo anual de energia do sistema de climatização entre 5,2 e 18% bem como dos custos de instalação e de operação. Verificou-se também a implementação de serpentinas de resfriamento e aquecimento posicionadas após o sistema dedicado de tratamento de ar externo que se mostrou pouco efetiva no tocante a redução de consumo de energia e dos custos de instalação e operação. Sugere-se, como estudos futuros, o uso destas serpentinas para realizar um desacoplamento mais efetivo das cargas térmicas sensível e latente.

REFERÊNCIAS

- ABNT.2008. NBR 16401 - Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do ar interior, ABNT, 28 páginas.
- Almeida, M. S. 2017. Metodologia de cálculo da vazão de ar exterior segundo a NBR 16401-3 da ABNT. Engenharia e Arquitetura, disponível em: <http://www.engenhariaearquitectura.com.br/2017/12/metodologia-de-calculo-da-vazao-de-ar-exterior-segundo-nbr-16401-3-da-abnt>, acesso: 29/05/2021.
- ASHRAE. 2017. Hadbook of fundamentals, ASHRAE, 1014 páginas.
- ASHRAE. 2019. ASHRAE Standard 62.1-2019 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE, 92 páginas.
- ASHRAE. 2020a. ASHRAE Standar 189.1 2020 - Standard for the Design of High-Performance Green Buildings, ASHRAE, 202 páginas.
- ASHRAE. 2020b. ASHRAE Position Document on Indoor Air Quality. ASHRAE, 23 páginas.
- Carrier. 2021. Hourly Analysis Program (HAP). Disponível em <https://carrierdobrasil.com.br/hourly-analysis-program/>, acesso: 29/05/2021.
- DOE. 2020. Department fo Energy. Energy Plus Engineering Reference, 1732 páginas.
- NREL. 2018. National Renewable Energy Laboratory. Disponível: <https://www.openstudio.net/>, acesso em : 20/05/2021.
- Trimble. 2018. Software documentation. Disponível: <https://www.sketchup.com/pt-BR>, Acesso: 20/05/201.