

MÉTODOS EFICIENTES DE RENOVAÇÃO DE AR EM SISTEMAS CENTRAIS DE VENTILAÇÃO E AR-CONDICIONADO

Para alguns administradores prediais, sistemas centrais de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC - “*Heating, Ventilation and Air Conditioning*”) estão associados com custos elevados, manutenção complexa e reclamações dos usuários. Como consequência, os equipamentos mini-split, inicialmente previstos para ambientes residenciais e comerciais, começaram a ser empregados em grandes edifícios, a despeito de sua baixa eficiência energética e da ausência de acessórios de filtragem e renovação de ar. Com a entrada em vigor da Lei 13.589 de 4 de janeiro de 2018, conhecida como “Lei do PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle)”, estes parâmetros normativos foram ratificados, sendo os responsáveis pelos sistemas instados à cumpri-los.

Diante deste cenário, um sistema central de HVAC precisa solucionar um tríptico problema, o qual inclui as necessidades de conforto térmico, eficiência energética e qualidade do ar. A manutenção da qualidade do ar é obtida basicamente pela exaustão de uma parcela do ar interno, substituída por uma parcela do ar externo, quase sempre admitido em condições de temperatura e umidade diferentes das condições típicas de conforto, o que implica no aumento do consumo de energia pelo sistema. Diversas soluções técnicas para a renovação do ar, com foco em minimizar o consumo de energia, evoluíram ao longo dos anos. Este artigo apresenta algumas dessas soluções, aplicáveis tanto em projetos de instalações novas, como no *retrofit* de instalações existentes.



Figura 1 – Central de água gelada de um sistema central de HVAC

EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DE RENOVAÇÃO E QUALIDADE DO AR

Segundo MITCHELL e BRAUN (2018) “a melhor solução para manter a qualidade do ar interior satisfatória é não liberar contaminantes no espaço ocupado”. Isto nem sempre é possível, pois a própria ocupação humana produz contaminantes no ambiente interno, tais como odores e dióxido de carbono (CO₂) (MACINTYRE, 1990), que, embora não seja um gás tóxico, pode causar asfixia em altas concentrações. Assim, mesmo diante de diversos avanços obtidos na tecnologia de filtragem do ar, a diluição destes contaminantes com a admissão de

ar exterior continua sendo a medida mais prática para alcance dos índices propostos.

As taxas de renovação de ar, bem como a metodologia para o cálculo da vazão de ar exterior, são indicadas na norma NBR 16401:2008. Conforme ALMEIDA (2017), uma revisão desta metodologia permitirá ao projetista definir a concentração de CO₂ para o ambiente climatizado, conforme adotado na norma ASHRAE 62.1. Esta referência indica que, ao aplicar uma taxa de 9,5 l/s por pessoa em ambiente de escritório, é possível manter a concentração interna

de CO₂ no limite de 1000 ppm, entre diversas taxas para outros tipos de ambientes profissionais.

Ainda conforme ALMEIDA (2017), a justificativa para tal método é o fato de que o CO₂ é um marcador químico de indicação da presença de outros contaminantes. Vale destacar que a captação do ar exterior também deve atender requisitos específicos para que não se torne um canal de entrada para contaminantes externos, numa avaliação que deve ser realizada em conjunto por projetistas e contratantes, com destaque para projetos de áreas

específicas, como oficinas e laboratórios.

Vista a necessidade da renovação do ar, destacam-se a seguir duas soluções que elevam a eficiência energética dos sistemas de HVAC utilizando o pré-resfriamento do ar exterior. Essas soluções são compatíveis com diferentes tipos de sistemas centrais de ar-condicionado, como os de expansão direta (*splits* de alta capacidade, *self-contained* e VRF), e os de expansão indireta por água gelada, por exemplo.

SISTEMAS COM RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

A recuperação de energia é aplicada no contexto de HVAC em diversas formas. É comum nos países do hemisfério norte o emprego de trocadores de calor entre a exaustão e o ar exterior, poupando o consumo de energia dos aquecedores. Este princípio também é válido para os sistemas de resfriamento e desumidificação, típicos no Brasil para aplicações de conforto, de modo que o ar exterior quente e úmido seja pré-resfriado por transferência de calor com o ar frio e seco da exaustão, caracterizando uma “recuperação de frio”. Tal aplicação, descrita por MCQUISTON *et al* (2005), pode ser representada na Figura 2.

Os recuperadores para fluxos de ar dividem-se em dois grupos: os recuperadores de calor (HRV – “*Heat Recovery Ventilator*”) e os recuperadores de energia ou entálpicos (ERV – “*Energy Recovery Ventilator*”). Em termos energéticos, os ERV apresentam consideráveis vantagens sobre os HRV, mas agregam

maiores custos de instalação e manutenção, e são impróprios para casos em que a exaustão apresenta uma concentração elevada de contaminantes, devido à passividade em relação à mistura de fluxos.

Em relação às técnicas construtivas, pesquisas recentes compararam os diversos tipos de recuperadores, abordando tanto modelos fixos como rotativos. Dentre estas opções, destaca-se que os trocadores de calor de placas fixas consistem no “modelo de recuperação mais utilizado, apresentando vantagens como a ausência de partes móveis, alto coeficiente de transferência de calor, ausência de contaminação cruzada, design compacto, possibilidade de controle de congelamento (para climas frios), e que podem ser aplicados tanto como HRV quanto como ERV” (O’CONNOR *et al.*, 2015). GOMEZ (2019) obteve uma efetividade de 85% na simulação numérica de um HRV de placas fixas atuando nas condições climáticas de projeto da cidade do Rio de Janeiro.

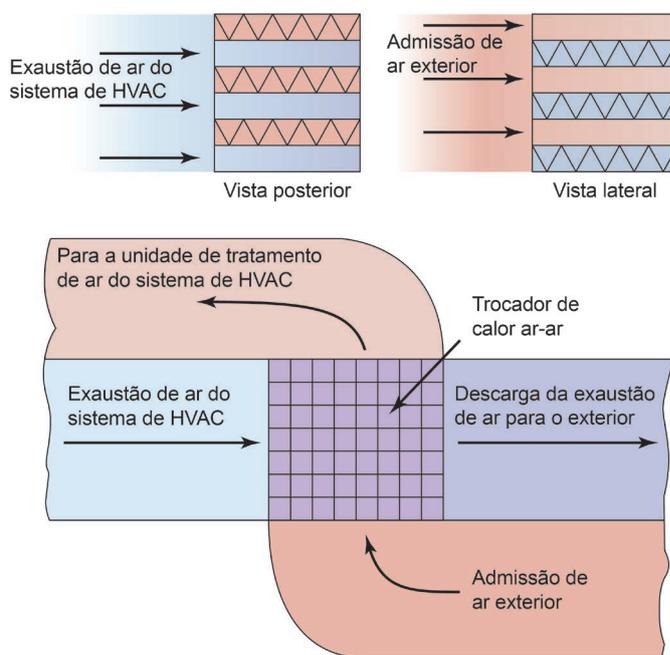


Figura 2 - Esquema de emprego de trocador de calor como recuperador em sistema de HVAC, adaptado de MCQUISTON *et al* (2005).

SISTEMAS COM UNIDADES DEDICADAS AO TRATAMENTO DO AR EXTERIOR

DOAS (“*Dedicated Outdoor-Air Systems*”) é a denominação empregada para um sistema central dedicado exclusivamente ao condicionamento do ar exterior, contendo todos os elementos de resfriamento e/ou aquecimento necessários para atuar nas condições climáticas locais. O DOAS atua em conjunto com condicionadores de ar internos, tanto centrais como unitários.

A principal vantagem do emprego de DOAS ocorre na fase de projeto, onde são determinadas as cargas térmicas dos ambientes. Tais cargas dividem-se em cargas sensíveis, associadas à variação da temperatura, e latentes, associadas à variação de umidade do ar. Assim como as fontes internas de calor, o ar exterior admitido para renovação também é uma fonte de cargas sensível e latente. O método indicado por MORRIS (2003) consiste em considerar no cálculo de dimensionamento da capacidade do DOAS tanto as cargas sensível e latente do ar exterior, como também a carga latente das fontes internas, de modo que o DOAS concentre a maior parte possível da capacidade de desumidificação do sistema, enquanto os condicionadores internos são dimensionados para atender apenas as cargas sensíveis internas.

A aplicação deste método resulta, de forma vantajosa, no aumento da eficiência, pois as variações

na condição térmica do ar exterior não causam impactos diretos na operação dos condicionadores internos, bem como na redução dimensional de diversos itens do sistema (equipamentos, dutos de ar, etc.). Entretanto, é importante destacar que o impacto do emprego do DOAS no custo inicial das instalações deve ser bem avaliado, principalmente nos casos onde a demanda de ar exterior e as cargas latentes internas não forem relevantes.

No contexto da MB, um DOAS foi empregado no prédio de escritórios do Estaleiro de Construção de Submarinos do Complexo Naval de Itaguaí, cuja instalação de ar-condicionado consiste em um sistema central de água gelada com capacidade de resfriamento de 140 TR para o atendimento de salas coletivas e individuais divididas em quatro pavimentos, além de um auditório e um *data-center*. O DOAS, também suprido pela central de água gelada, possui capacidade de 41,2 TR, capaz de renovar o volume de ar condicionado do prédio a cada 5 horas. A DOCM participou da análise do projeto e da fiscalização da instalação deste sistema, comissionado em outubro de 2018. A Figura 3 apresenta, parcialmente, o fluxograma de distribuição de ar deste projeto, destacando a distribuição do ar exterior do DOAS para uma das unidades internas, a qual atende o terceiro pavimento do prédio.

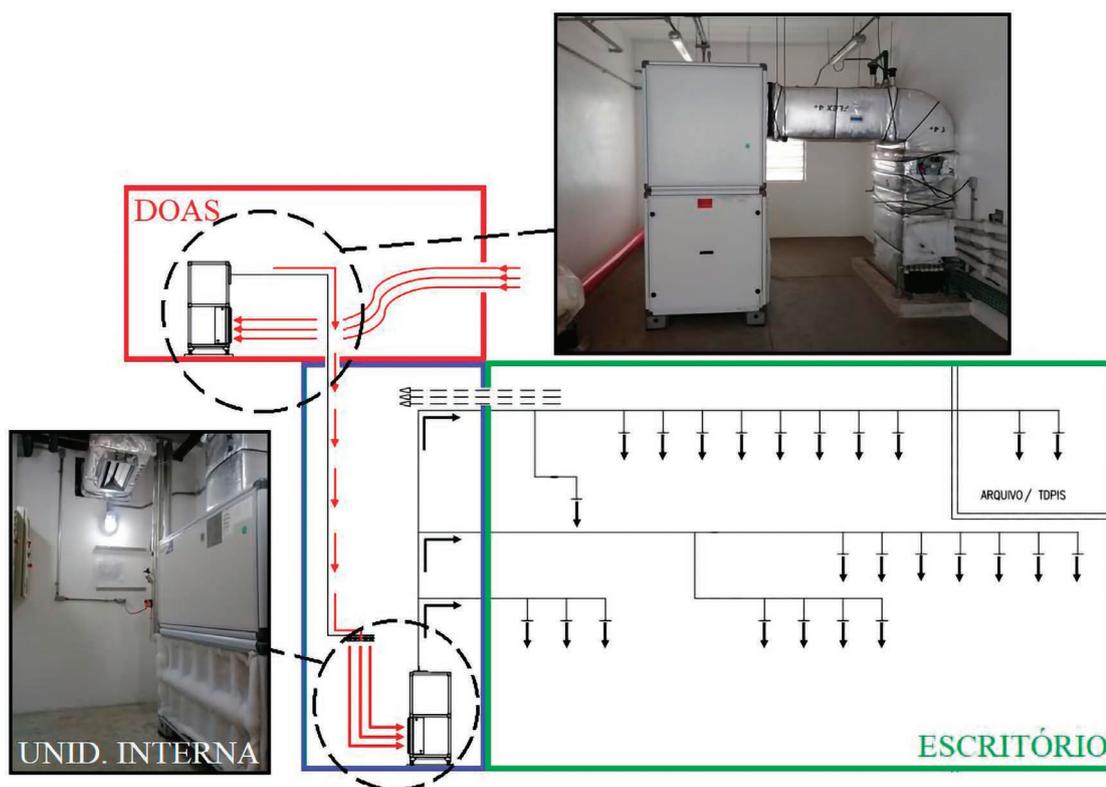


Figura 3 - Diagrama de distribuição de ar condicionado do prédio de escritórios do Estaleiro de Construção de Submarinos do Complexo Naval de Itaguaí.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NUMÉRICA

Para efeito de comparação, foi realizada uma simulação computacional da operação dos sistemas citados sobre uma edificação fictícia, utilizando médias de dados recentes de temperatura e umidade da cidade do Rio de Janeiro, obtidas no sítio do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) da Força Aérea Brasileira (FAB). Aplicando a metodologia de cálculo de renovação de ar, indicado na norma

ASHRAE 62.1, foi obtida uma vazão de ar exterior de 1786 l/s para manter a concentração interna de CO₂ em 1000 ppm. A variação anual das cargas térmicas geradas pela admissão do ar exterior e pelas fontes internas do prédio (pessoas, equipamentos, etc.) é representada na Figura 4, utilizando quatro horários de referência (9, 12, 15 e 18h).

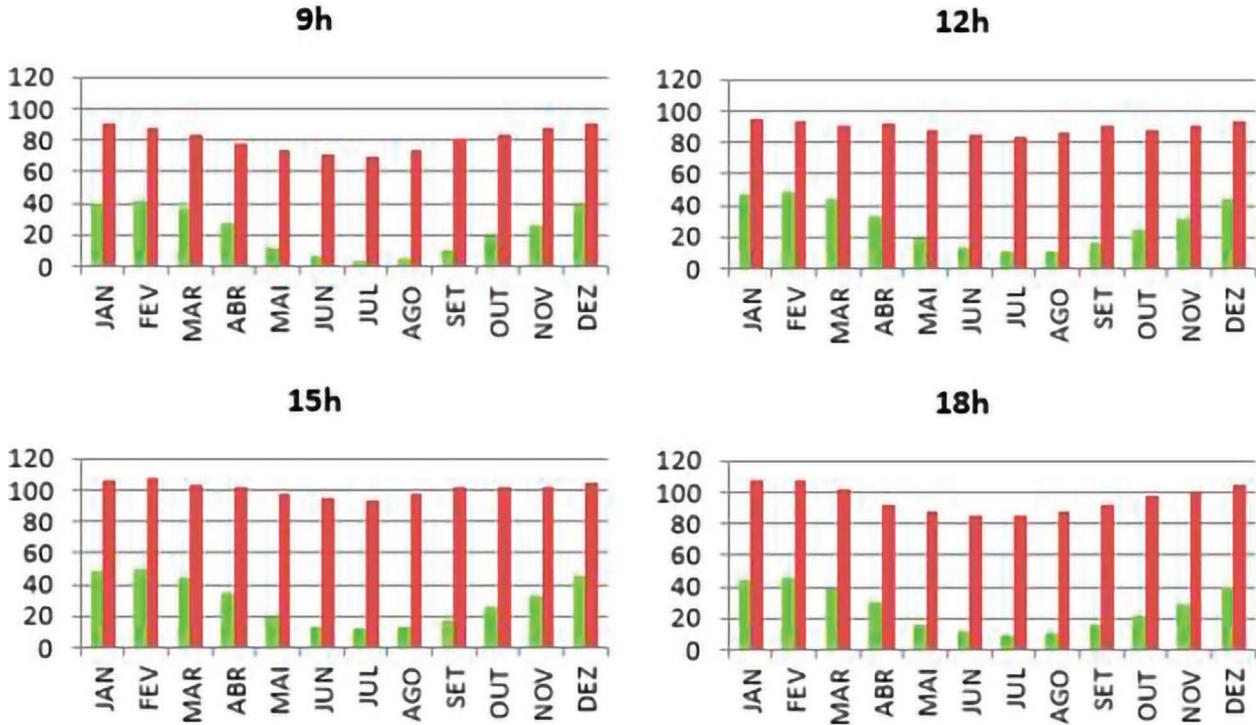


Figura 4 - Gráficos da variação anual da carga térmica da simulação, em kW. As barras vermelhas representam a soma das cargas internas da edificação, e as verdes, a carga total do ar exterior.

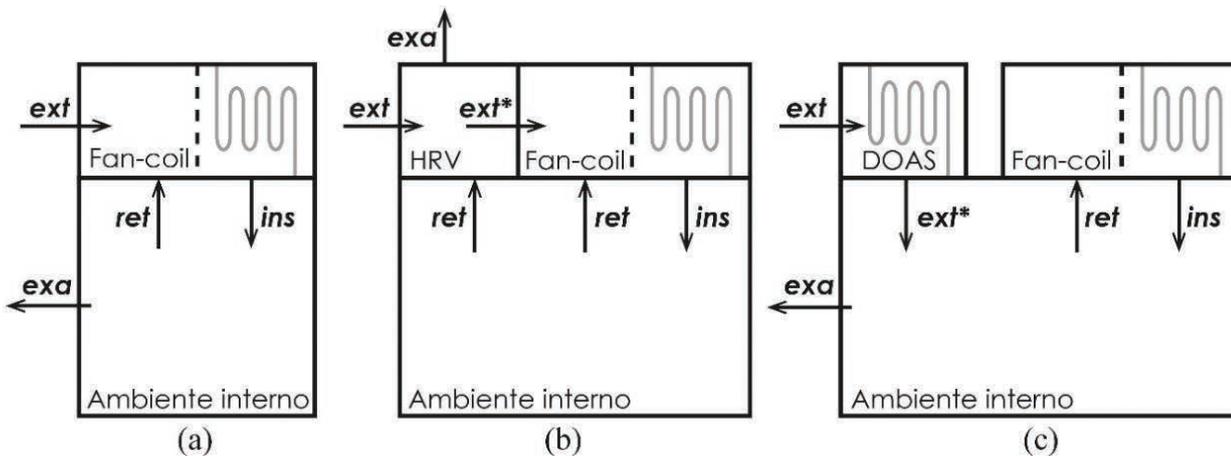


Figura 5 - Esquemas de sistemas de HVAC do tipo “convencional” (a), com recuperador de calor sensível (HRV) (b) e com unidade dedicada ao tratamento de ar exterior (DOAS) (c); com seguintes indicações dos fluxos de ar: ext: ar exterior; ext*: ar exterior pré-resfriado; ret: retorno de ar; ins: insuflação de ar; e exa: exaustão de ar.

Por fim, a simulação dos sistemas representados pelos esquemas (a), (b) e (c), da Figura 5 permitiu a obtenção de um parâmetro de eficiência utilizando o conceito termodinâmico da exergia (potencial de trabalho útil de uma determinada quantidade de energia). Diversos estudos recentes elaboraram formulações de eficiências exergéticas para

equipamentos e processos da área de HVAC. Neste trabalho, foram adotadas formulações propostas por DINÇER e ROSEN *et al.* (2015) para a obtenção da eficiência exergética de cada sistema simulado ao longo do ano, considerando os mesmos horários de referência. Os resultados obtidos são indicados graficamente na Figura 6.

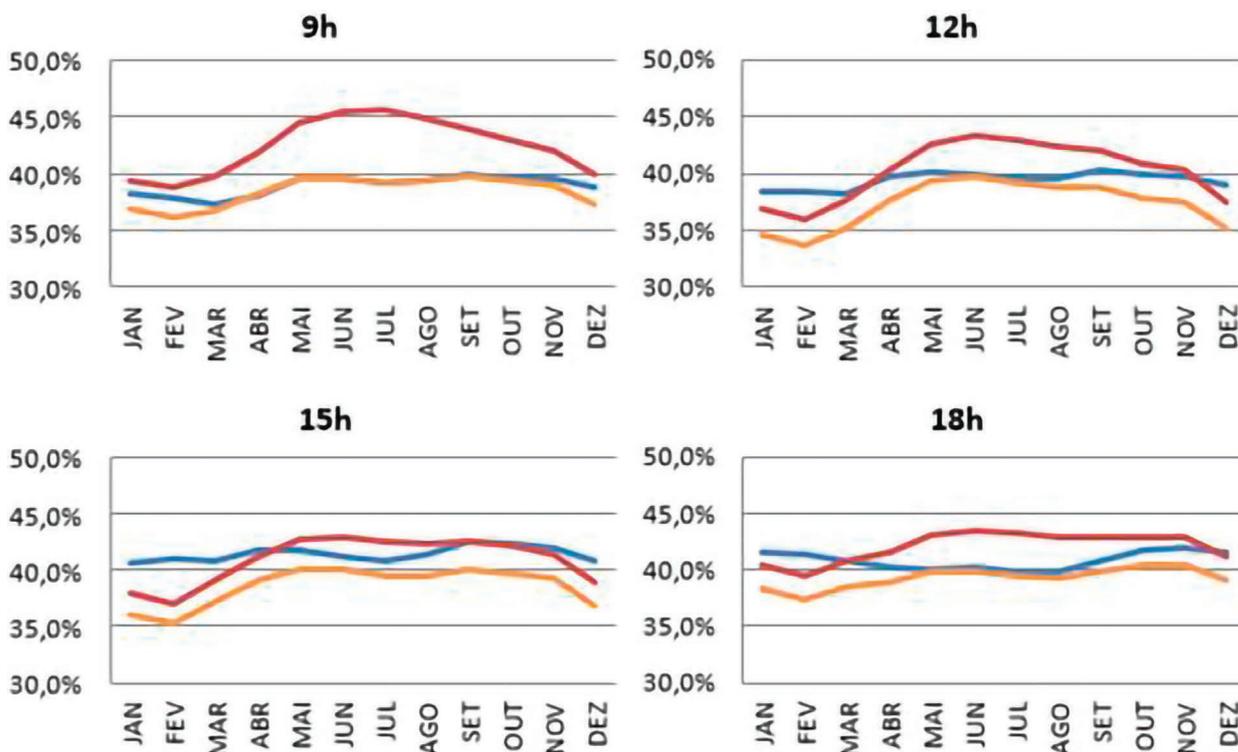


Figura 6 - Gráficos dos resultados das eficiências exergéticas dos sistemas simulados. A linha laranja representa a variação de eficiência do sistema convencional; a linha azul, do sistema com HRV; e a linha vermelha, do sistema com DOAS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação indicou resultados de maior eficiência para o sistema com DOAS ao longo da maior parte do ano. Tais resultados, associados ao fato deste sistema já ter sido empregado com sucesso em instalações similares existentes, indicam que o DOAS é a opção mais viável dentre as estratégias estudadas para o Rio de Janeiro e regiões com perfil climático semelhante. Também foi verificado que nos meses de verão, o sistema com HRV apresentou maior eficiência no período vespertino (12 às 18h), indicando que o emprego de recuperadores de calor também é uma opção válida, cabendo uma análise complementar das particularidades de cada projeto.

Uma destas particularidades consiste na variação da razão de calor sensível, o quociente da divisão da carga sensível pela carga total. A edificação simulada apresentou uma variação da razão de calor sensível entre 0,84 e 0,9. Outros perfis de carga térmica podem evidenciar diferentes resultados de eficiência, como foi verificado em GOMEZ (2019) com a avaliação de sistemas com razão de calor sensível de 0,6 a 0,9. Outro fator relevante no resultado é a própria vazão de ar exterior. Quando sua requisição em projeto for muito reduzida, as vantagens dos métodos citados não serão aproveitadas.

Por fim, a variedade de outros tipos de sistemas pode trazer novas contribuições ao estudo. Esta realidade de avanço tecnológico deve ser equilibrada pelos profissionais com a análise dos custos envolvidos (instalação, operação, manutenção, etc.). Análises de eficiência exergética, como a deste artigo, são ferramentas iniciais para a composição de uma análise termoeconômica, que poderá incluir também outros equipamentos do sistema central de HVAC, tais como, *chillers*, bombas, válvulas, compressores e torres de resfriamento. Aos usuários, contratantes e administradores prediais, recomenda-se o investimento em uma fase de projeto com as análises citadas, com objetivo na redução de custos operacionais no futuro.

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers;

VRV: "Variable Refrigerant Flow" (Volume de Refrigerante Variável).

l/s: litros por segundo, unidade de medição de vazão volumétrica;

ppm: partes por milhão, unidade de medição de concentração para soluções muito diluídas;

TR: tonelada de refrigeração, unidade de medição de potência utilizada em refrigeração, correspondente a 3,51685 kW;

kW: quilowatt, unidade de medição de potência mais utilizada em , tem substituído a TR na área de refrigeração em diversos países;

REFERÊNCIAS:

1. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16401, Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários, Rio de Janeiro, 2008.
2. ALMEIDA, M. S. "Metodologia de cálculo da vazão de ar exterior segundo a nova NBR 16401-3", ABRAVA + Climatização e Refrigeração, edições 43 e 44, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento, 2017.
3. ANSI ASHRAE 62.1, 2016, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Standard 62.1, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA.
4. BRASIL, Lei 13.589 de 4 de janeiro de 2018, "Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes", publicada no DOU de 5 de janeiro de 2018.
5. DINÇER, I.; ROSEN, M. A. Exergy Analysis of Heating, Refrigerating and Air Conditioning: Methods and Applications. Amsterdam, Elsevier Inc, 2015.
6. GOMEZ, V. L., 2019, Análise de um Modelo de Recuperação de Calor com Trocador de Calor de Placas Fixas. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
7. ICEA, 2018, Banco de Dados Climatológicos do Comando da Aeronáutica e Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas, disponíveis no sítio Instituto de Controle do Espaço Aéreo da Força Aérea Brasileira <http://clima.icea.gov.br/clima/index.php>, Acesso em: 23 out. 2018, 11:22:00.
8. MACINTYRE, A. J., 1990, Ventilação Industrial e Controle da Poluição. 2 ed., Rio de Janeiro, RJ, LTC.
9. McQUISTON, F. C.; PARKER, J. D.; SPITLER, J. D. Heating, Ventilation and Air Conditioning: Analysis and Design. 6 ed., Hoboken, NJ, John Willey & Sons, Inc, 2005.
10. MITCHELL, J. W., BRAUN, J. E., 2018, Princípios de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado em Edificações. 1 ed., tradução de Luís Paulo de Oliveira, Rio de Janeiro, RJ, LTC.
11. MORRIS, W., 2003, "The ABCs of DOAS Dedicated Outdoor Air Systems", ASHRAE Journal, v. 45, n. 5, pp. 24-29, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, GA.
12. O'CONNOR, D.; CALAUTIT, J. K. S.; HUGHES, B. R. "A review of heat recovery technology for passive ventilation applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, pp. 1481-1493, Elsevier Ltd, 2015.

AUTORES



Capitão de Corveta (EN) Vinicius de Lima Gomez

*Supervisor de Obras
Industriais da DOCM-
PROSUB*

**Graduado em Engenharia
Mecânica pelo CEFET/RJ.
Curso de Extensão em
Engenharia do Ar
Condicionado - SINDRATAR-
RJ/IME.**

**Mestre em Engenharia
Mecânica pela Universidade
Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ)**



Primeiro-Tenente (RM2-EN) Ailton Macedo Medeiros

*Ajudante da Supervisão de
Obras Industriais da DOCM-
PROSUB*

**Técno logo Mecânico pela
Faculdade de Tecnologia
de São Paulo - FATEC-SP/
UNESP**

**Graduado em Engenharia
Mecânica pela Universidade
Paulista (UNIP)
Curso de Extensão
em Engenharia do Ar
Condicionado - SINDRATAR/
IME**

