VETOR

Avaliação da capacidade térmica de equipamentos de ar-condicionado para conforto

Evaluation of thermal capacity air conditioning equipment for comfort

Juvenil Nunes de Oliveira Júnior[1,†], Filipe Ribeiro de Castro [1], Thaynara Ramos de Andrade[1]

[1]*Instituto Federal Fluminense – Campus Itaperuna, Itaperuna, RJ, Brasil*

[†]**Autor correspondente:** juvenil.junior@iff.edu.br

Resumo

A climatização de ambientes residenciais vem crescendo ao longo dos últimos anos e com isso, avaliar se uma instalação de ar condicionado está operando de acordo com o projeto é extremamente importante. Este estudo possui o objetivo de determinar o rendimento térmico de um equipamento de ar-condicionado de uma bancada didática. Para calcular o rendimento térmico de um aparelho de ar-condicionado é necessário determinar a massa de ar recirculada no evaporador e também a variação da entalpia, de entrada e saída. Foram utilizados anemômetro digital, psicrômetro digital e trena, além da bancada didática que possui um aparelho de ar-condicionado do tipo janela com capacidade térmica nominal de 7.500 Btu/h como informado pelo fabricante. Os resultados mostraram que a massa de ar recirculada foi de 580 kg/h e a variação da entalpia foi de 3,1 kcal/kg, obtendo uma capacidade térmica real de 1.798 kcal/h. Assim, verificou-se que o rendimento térmico do aparelho de ar-condicionado da bancada didática ficou aproximadamente 5% menor que o valor informado pelo fabricante.

Palavras-chave

Climatização • Capacidade Térmica • Refrigeração

Abstract

The air conditioning of residential environments has been growing over the last few years and with that, assessing whether an air conditioning installation is operating as expected is extremely important. Therefore, this study aims to determine the thermal efficiency of air conditioning equipment on a didactic bench. To calculate the thermal efficiency of an air conditioner, it is necessary to determine the mass of recirculated air in the evaporator and the variation of enthalpy between the inlet and outlet. Therefore, a digital anemometer, digital psychrometer, and measuring tape were used, in addition to the didactic bench that has a window-type air conditioner with a nominal thermal capacity of 7,500 Btu/h, as informed by the manufacturer. The results showed that the recirculated air mass was 580 kg/h and the enthalpy variation was 3.1 kcal/kg, obtaining an actual heat capacity of 1,798 kcal/h. Thus, it

was found that the thermal efficiency of the air conditioning unit of the didactic bench was approximately 5% lower than the value informed by the manufacturer.

Keywords

Climatization • Thermal Capacity • Refrigeration

1 Introdução

Nos últimos anos têm se intensificado os estudos dos efeitos do conforto térmico das pessoas em ambientes internos. O conforto térmico pode ser definido, de maneira geral, como a satisfação das pessoas acerca das condições térmicas do ambiente onde estão ocupando. Muitas construções não foram projetadas para proporcionar um ambiente adequado que ofereça conforto térmico aos seus ocupantes. Diante disso, para buscar o conforto térmico são empregados equipamentos de ar-condicionado que irão modificar tanto a temperatura, como a umidade relativa do recinto [1-2]. O conforto térmico está relacionado a temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada pelo usuário no recinto [3]. O conforto térmico pode ser avaliado em função do clima e da definição de utilização do ambiente por meio da Carta Psicrométrica de Givoni [4].

Segundo Carlesso *et al.* [5], a climatização de ambientes permitiu à humanidade criar condições de conforto térmico necessárias para a realização produtiva de suas atividades.

O condicionador de ar, segundo Çengel e Boles [6], é um refrigerador cujo espaço refrigerado é uma sala ou um edifício frequentado por pessoas. Este aparelho resfria este espaço removendo o calor do ambiente interno e descarregando-o na atmosfera [7]. Por isso a importância em se conhecer como proceder desde da instalação, manutenção e funcionamento diário, para que ele esteja sempre fazendo a função que é desempenhada, retirar o calor do ambiente que vai ser refrigerado, assim não perder a eficiência do aparelho que gera gastos na conta de energia elétrica.

A Fig. 1 apresenta o ciclo de refrigeração por compressão de vapor utilizado nos equipamentos de ar condicionado. No ciclo de refrigeração por compressão de vapor, o refrigerante quente sob alta pressão é forçado pelo compressor para o condensador onde o calor é removido do fluido refrigerante para o ar ambiente, provocando a condensação do refrigerante. O refrigerante líquido é estrangulado através da válvula de expansão que reduz sua pressão para aquela existente no evaporador. O fluido refrigerante evapora, resfriando o evaporador e absorve calor com quantidade do ar do recinto que passa por suas serpentinas. O fluido evaporado é então sugado pelo compressor, permitindo assim repetir o ciclo [6,8,9].

Ainda sobre a Fig. 1, é possível observar que a entrada de trabalho no sistema se dá pelo compressor, indicado pelo símbolo $_1W_2$ (entrada de trabalho de 1 para 2). E que o calor é retirado para o ambiente externo através do condensador, como indicado pelo símbolo $_2Q_3$ (retirada de calor de 2 para 3). E que o calor é absorvido pelo equipamento de ar condicionado no evaporador através do símbolo $_4Q_1$ (absorção de calor de 4 para 1).

A implementação de procedimentos que levem a um projeto de ar condicionado energeticamente otimizado ou à otimização das instalações existentes é importante para reduzir custos operacionais [10], [11], [12], em especial, da energia elétrica demandada pelo equipamento.

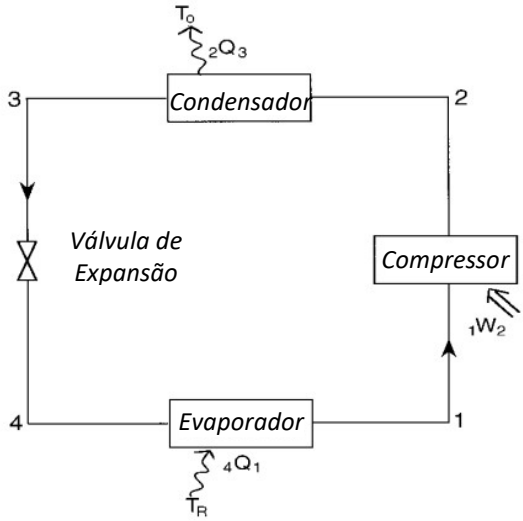

Figura 1: Ciclo de refrigeração por compressão de vapor utilizados em equipamentos de ar condicionado [13].

O levantamento da capacidade térmica de um sistema conclui a instalação, dando-lhe o desempenho requerido pelo projeto, assegurando a qualidade quanto ao consumo de energia e conforto térmico. Conforme Silva [9], para se estimar o rendimento térmico projetado do ar condicionado é necessário calcular a capacidade térmica da instalação.

A partir da conscientização de que o rendimento térmico do aparelho está associado à economia do consumo de energia elétrica, foi feito um estudo de rendimento térmico do ar-condicionado de uma bancada didática do Laboratório de Refrigeração do Instituto Federal Fluminense – Campus Itaperuna. Este estudo possui o objetivo de calcular a capacidade térmica do aparelho de ar-condicionado, modelo janela, e compará-la com a capacidade nominal descrita do aparelho.

2 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada uma bancada didática presente no Laboratório de Refrigeração, que é composta por um aparelho de ar condicionado do tipo janela da marca Consul, modelo quente/frio com capacidade térmica nominal de 7.500 Btu/h, que utiliza como fluido refrigerante o R-22. Apesar da bancada didática possuir diversas opções de utilização de acessórios, que são mais comuns na refrigeração industrial e não para condicionadores de ar para conforto, utilizou-se apenas os componentes apresentados na Fig. 1. Este estudo foi aplicado somente no ciclo frio por ser o mais utilizado no país. Antes do início das medições dos parâmetros, o aparelho de ar condicionado foi ligado por 10 minutos para a estabilização do sistema. Na Fig. 2 é apresentada bancada didática utilizada com equipamento de ar condicionado do tipo janela utilizado neste estudo.



Figura 2: Bancada didática utilizada neste estudo.

Para se determinar o rendimento térmico, ou capacidade térmica (CT), de um sistema de ar-condicionado já instalado é necessário determinar a massa de ar recirculada (M_{RE}) e a variação da entalpia (ΔH) entre a entrada e saída do evaporador. O cálculo da capacidade térmica é apresentado na Eq. (1).

$$CT = MRE \times \Delta H \tag{1}$$

A massa de ar recirculada foi obtida pela multiplicação da vazão do ar e a massa específica do ar na saída do evaporador. A vazão do ar foi obtida pela multiplicação da velocidade do ar com a área da serpentina de entrada do evaporador. Já a massa específica do ar foi obtida com uso da carta psicrométrica utilizando os dados coletados na entrada e saída do evaporador. A carta psicrométrica relaciona diversas variáveis como, volume específico, entalpia, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e umidade relativa.

Para a aquisição dos dados necessários para a determinação do rendimento térmico foram utilizados um psicrômetro digital, da marca Instrutemp modelo ITHT 2220, e um anemômetro digital, também da marca Instrutherm modelo TAD-500, como mostra a Fig. 3.



(a) (b)

Figura 3: Instrumentos de medição utilizados, (a) psicrômetro digital e (b) anemômetro digital.

A variação da entalpia, assim como a massa específica do ar, foi obtida da carta psicrométrica. A variação de entalpia foi calculada pela subtração da entalpia do ar na entrada do evaporador e da entalpia do ar na saída do evaporador. A Eq. (2) apresenta o modo como foi estimada a variação de entalpia.

$$\Delta H = H_{ENT} - H_{SAI} \quad (2)$$

Ao final, com todos os fatores determinados, bastou empregar a Eq. (1) e determinar capacidade térmica do aparelho de ar-condicionado, sendo que este resultado expresso em kcal/h. Para converter a capacidade térmica de kcal/h para Btu/h para multiplicou-se o resultado por 3,968.

As cartas psicrométricas foram confeccionadas à pressão atmosférica igual a 101,325 kPa utilizando-se o *software CYT Psychrometric Chart* 2.2.

3 Resultados e Discussão

O equipamento de ar-condicionado foi ajustado para a temperatura mínima, que representa a capacidade máxima do sistema, velocidade de ventilação na mais alta e utilizou-se como dispositivo de expansão a válvula de expansão termostática (VET), uma vez que nesta bancada havia a possibilidade de se escolher o tipo de tipo expansão entre o tubo capilar e a VET.

- Cálculo da massa de ar recirculado no sistema

A entrada do evaporador foi dividida em nove seções para a coleta de velocidade utilizando o anemômetro digital. A Fig. 4 apresenta um esquema da divisão da serpentina do evaporador. A velocidade utilizada para o cálculo foi a média das seções.



Figura 4: Esquema dos pontos de aferição da velocidade na serpentina do evaporador.

Na Tabela 1 são apresentadas as velocidades aferidas na entrada do evaporador.

Tabela 1: Velocidades na entrada do evaporador.

Velocidades aferidas na entrada do evaporador			
$v_1 =$	2,50 m/s	$v_6 =$	2,80 m/s
$v_2 =$	2,70 m/s	$v_7 =$	2,60 m/s
$v_3 =$	2,30 m/s	$v_8 =$	2,90 m/s
$v_4 =$	2,70 m/s	$v_9 =$	3,30 m/s
$v_5 =$	3,00 m/s	$v_{MED} =$	2,70 m/s = 9720 m/h

Como apresentado na Tabela 1, a velocidade média na entrada do evaporador foi de 2,70 m/s ou 9720 m/h. A entrada do evaporador foi medida utilizando uma trena, e possui 0,27 m x 0,26 m configurando uma área de 0,0702 m². Com isso, foi possível definir que a vazão do ar (Q_{AR}) no evaporador foi 682,3 m³/h, conforme Eq. (3).

$$Q_{AR} = (9.720 \text{ m/h}) \text{ x } (0{,}0702 \text{ m}^2) = 682{,}3 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

A massa específica do ar na saída do evaporador foi obtida utilizando a carta psicrométrica e com os dados medidos com o auxílio do psicrômetro, temperatura de bulbo seco (TBS) 21,5 °C e 18,6 °C de temperatura de bulbo úmido (TBU). Na carta psicrométrica foi encontrado o valor aproximado de 0,85 kg/m³, sendo este valor considerado para a massa específica. Foi utilizada a carta psicrométrica à pressão atmosférica igual a 101,325 kPa, e o *software* CYT Psychrometric Chart 2.2.

Utilizando o produto do valor médio da vazão do ar (Q_{AR}) e a massa específica do ar determinada pela carta psicrométrica, a massa de ar recirculada (M_{RE}) foi calculada o valor de 580 kg/h, conforme mostrado na Eq. (4).

$$M_{RE} = 682{,}34 \text{ m}^3/\text{h} \text{ x } 0{,}85 \text{ kg/m}^3 = 580 \text{ kg/h} \quad (4)$$

- Cálculo da variação de entalpia

Foram realizadas medidas das temperaturas TBS e TBU na entrada e saída do evaporador do equipamento de ar condicionado e, depois novamente, com o auxílio da carta psicrométrica foi determinado o valor de cada entalpia, de entrada e saída. A Tabela 2 apresenta os dados aferidos e as entalpias determinadas na carta psicrométrica.

Tabela 2: Dados levantados na entrada e saída do evaporador.

Entrada do Evaporador		Saída do Evaporador	
TBU	22,2 °C	TBU	21,5°C
TBS	26,4 °C	TBS	18,6 °C
Entalpia (H)	66 kJ/kg 15,8 kcal/kg	Entalpia (H)	53 kJ/kg 12,7 kcal/kg

Na Fig. 5 são apresentados os pontos aferidos na entrada e saída do evaporador plotados na carta psicrométrica disponibilizada por [13].

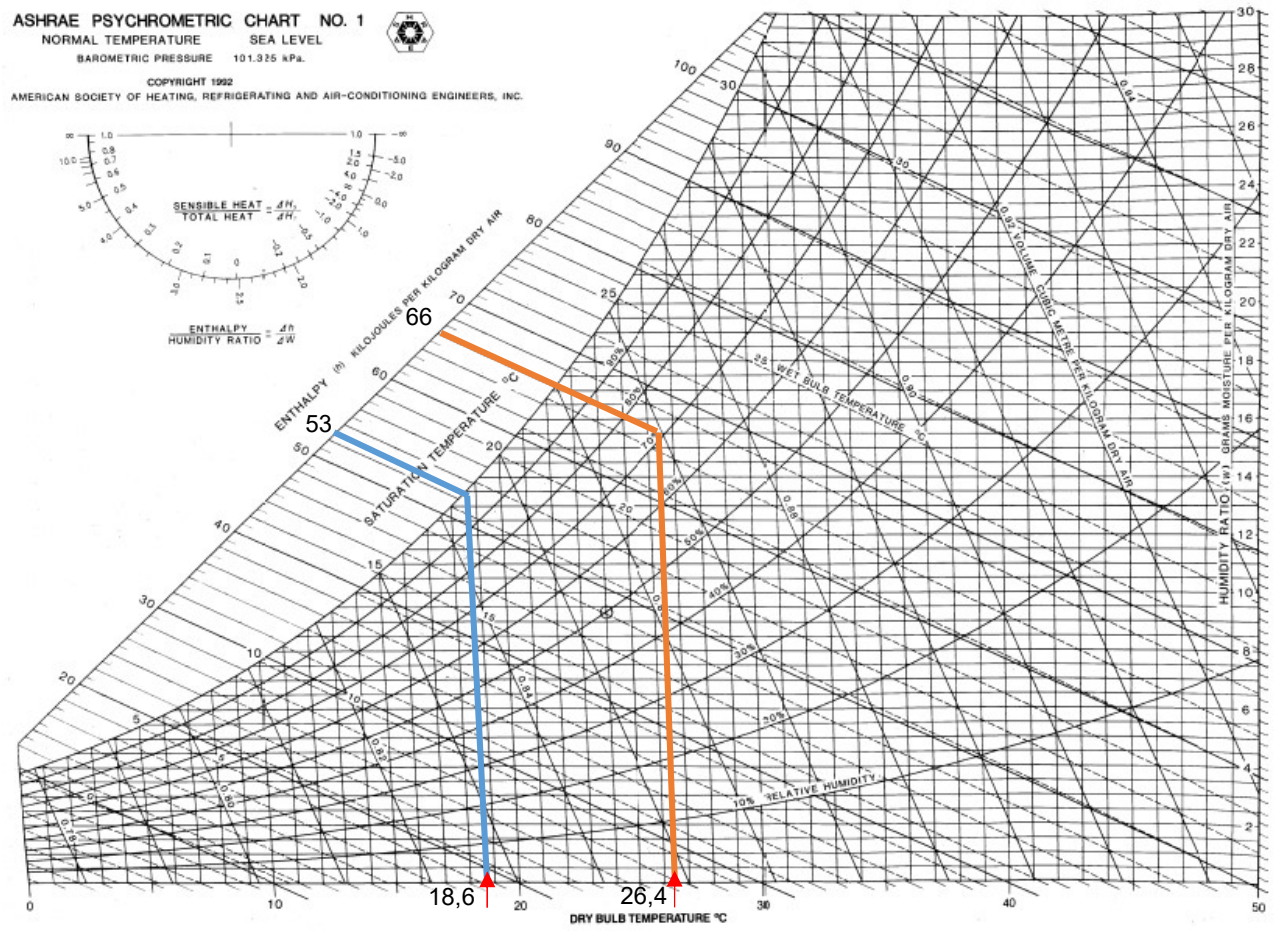

Figura 5: Uso da carta psicrométrica para as condições da entrada (linha laranja) e da saída do evaporador (linha azul) [13].

Ao se aplicar a Eq. (2) utilizando os dados fornecidos pela Tabela 2, foi possível calcular a variação da entalpia, conforme mostrado na Eq. (5):

$$\Delta H = 15{,}8 - 12{,}7 = 3{,}1 \text{ kcal/kg} \tag{5}$$

Utilizando a Eq. (1) foi possível determinada a capacidade térmica do ar condicionado da bancada didática como mostrado na Eq. (6):

$$CT = 580 \text{ (kg/h)} \times 3{,}1 \text{ (kcal/kg)} = 1.798 \text{ kcal/h} \tag{6}$$

Convertendo-se o resultado obtido na equação 1 em Btu/h tem-se o valor de 7.135. Assim, esta é a capacidade térmica do ar-condicionado instalado na bancada didática. A capacidade encontrada é apenas 365 Btu/h abaixo do valor nominal informado pelo fabricante do ar-condicionado.

O resultado de aproximadamente 7.135 Btu/h corresponde 95 % do valor informado pelo fabricante, isso demonstra que a metodologia aplicada neste estudo pode ser replicada em outros equipamentos de ar-condicionado. Além disso, demonstra que o equipamento está retirando calor na intensidade especificada pelo fabricante.

4 Conclusões

Verificou-se que o rendimento térmico do aparelho de ar-condicionado da bancada didática ficou aproximadamente 5 % menor que o valor informado pelo fabricante do equipamento. Esta variação demonstra que a instalação feita está correta e oferecerá uma refrigeração muito próxima do valor nominal. Contudo, não foi encontrada normas que estabelecem um limite aceitável de variação do rendimento térmico de equipamentos de ar-condicionado para conforto.

Dessa maneira, ficou evidente que a metodologia utilizada na avaliação da capacidade térmica do equipamento de ar-condicionado para conforto foi adequada para o tipo de instalação.

Ademais, as condições ambientais no recinto onde os testes foram realizados, podem ser diferentes das utilizadas nos testes do fabricante. Como recomendações futuras, deve-se analisar se esta metodologia se adequa aos diferentes modelos de equipamentos de ar-condicionado disponíveis no mercado.

Referências

[1] E. C. Batiz, J. Goedert, J. J. Morsch, P. Kasmirski Junior, e R. Venske, "Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória," *Production*, vol. 19, no. 3, pp. 477-488, 2009. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132009000300006.

[2] S. Tanabe, M. Haneda, e N. Nishihara, "Workplace productivity and individual thermal satisfaction," *Building and Environment*, vol. 91, pp. 42-50, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.032.

[3] P. C. B. Angelini e J. C. U. Ugeda Júnior, "Conforto térmico em ambiente escolar na cidade de Cuiabá – MT," *Brazilian Geographical Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 145-176, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/bgj-v11n1-a2020-57524.

[4] A. L. P. Abreu, L. B. Dal' Annio, A. S. L. V. Nardi, e G. M. B. Klein, "Avaliação comparativa do conforto térmico resultante da carta bioclimática de Givoni com dados de pesquisa de sensação térmica em residências em Florianópolis," em *Anais de III Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Porto Alegre, Brasil: ANTAC, 2018, pp. 774–780. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1408. Acesso em: 15 nov. 2022.

[5] C. L. Carlesso, E. J. B. Dutra, e J. S. Rosa, "Desenvolvimento de uma bancada didática de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor," *Revista Liberato*, vol. 21, no. 3, pp. 131–142, 2020.

[6] Y. A Çengel e M. A. Boles. *Termodinâmica*, 7ª ed. São Paulo: McGraw Hill, 2013.

[7] J. R. Couper, W. R. Penney, J. R. Fair, e S. M. Walas. "Heat transfer and heat exchangers". *Chemical Process Equipment*, vol. 1, pp. 161-221, 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-396959-0.00008-2.

[8] A. Al-Zubaydi. *Architectural Modifications: Performance Assessment of the Solar Cooling System for a Small Size Office Building*, 1ª Edição, 2013.

[9] J. C. Silva. *Refrigeração comercial e climatização industrial*, 1ª Edição. São Paulo: Hemus, 2011.

[10] F. A. S. Fiorelli, A. Hernandez Neto, e A. Tribess, "Avaliação de estratégias para a racionalização do consumo de energia em edifícios com ar-condicionado," em *Anais do Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído*, São Pedro: Antac, 2001, pp. 1-8.

[11] J. N. Oliveira Júnior, D. F. C. Citeli, e V. G. R. Mota, "Efeito da refrigeração evaporativa em telhas de barro e fibrocimento no município de Itaperuna-RJ," *Reinpec*, vol. 1, no. 1, pp. 28-42, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v1n1a3.

[12] A. Gupta, V. Sankhla, e D. Sharma, "A comprehensive review on the sustainable refrigeration systems," *Materials Today*: vol. 44, pp. 4850-4854, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.700.

[13] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Condition Engineers. *ASHRAE Handbook – Fundamentals: Chapter 1, Psychrometics*, Atlanta, USA, 2009.