ISSN: 2594-6153

# Cálculo do coeficiente de desempenho do resfriador para produção de água geladaem equipamentos de climatização de ar condicionado em um edifício comercial

Guilherme Ianusckiewicz Marques[1], Irio Nizzoli Filho[1], Daniel Queiroz da Silva[1]

[1] Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

Email: alexguimarques@hotmail.com

**Resumo:**Este trabalho apresenta a análise do coeficiente de desempenho (COP) de um resfriador (*chiller*)de absorção,gerador de água gelada para equipamentos de climatização de ar condicionado em um edifício empresarial na cidade de Santos-SP. Os dados foram coletadosde forma continuadurante sete dias, utilizando umsistema de base de dados computadorizado,para obter as variáveis de operaçãodos equipamentos. Foram calculadas as vazões mássicas, as energias removidas das correntes geladas, as energias fornecidas pelas correntes quentes e os rendimentos térmicos. Os resultados mostraram que os valores do COP foram próximos aos ideais entre 1 e 2.Portanto, foi encontrado que o equipamento estava trabalhando satisfatoriamente.

**Palavras-chave**: Resfriador de absorção; Automatização; Correntes de energia; Rendimento térmico.

## Calculation of the performance coefficient of the chiller to cold water production in air conditioning equipment in a business building.

**Abstract:** This work presents the analysis of the performance coefficient (COP) of an absorption chiller, a cold water generator for air-conditioning systems in a business building in the city of Santos-SP. The data was collected during seven days, using a computerized system of the company, to obtain the equipment variables. Mathematical calculations were applied to evaluate the mass flows, the energies removed from the icy currents, the energies provided by the hot currents and the thermal yields. The results showed that the values of the COP were close to the ideals between 1 and 2. Therefore, it demonstrated that the equipment was working satisfactorily.

**Keywords:** Chiller absorption; Automation; Power lines; Thermal yield.

## Introdução

Ao longo das últimas décadas está ocorrendo um aumento da utilização de vários equipamentos produtores e ou transformadores de energia térmica como os sistemas de ar condicionado e climatização e entre eles encontram-se as máquinas de produção de água refrigerada chamadas *chillers.* Isto acontece devido à maior exigência, principalmente, do setor industrial onde o controle térmico dos processos e armazenagem de produtos têm exigências mais rigorosas, além, do conforto térmico em ambientes internos que segundo

Xavier [5], é a procura pelo bem estar físico, fisiológico e psicológico do ser humano. De acordo com a norma ASHRAE [1], conforto térmico para uma pessoa pode ser definido como sendo a satisfação com o ambiente térmico onde ela se encontra. Medeiros e Barbosa [2], definem *chillers* como um equipamento térmico que trabalham segundo o ciclo de refrigeração a vapor onde o seu fluido de trabalho, que são gases refrigerantes, retiram calor de um certo meio a partir da transferência de fase. Os *chillers* de absorção, conforme Figura 1, são equipamentos que produzem frio, a partir da energia térmica do processo de produção e utilização conjunta de calor e eletricidade chamada cogeração. Elesenvolvemum sistema de condensação e um sistema de evaporação para gerar a refrigeração e são utilizadas uma fonte de calor, por combustão direta ou indireta, sendo alimentados por vapor, água quente ou energia térmica perdida [4].



**Figura 1- *Chiller* de absorção.**
Fonte: York- Johnson Controls, 2018.

O *chiller* estudado neste trabalho, faz parte de um complexo sistema automatizado do edifício, que o controla em função da vazão da água gelada e/ou da carga térmica, impedindo ocorrer um baixo fluxo de água nos evaporadores, evitando o congelamento dos mesmos, porém, o controle da temperatura de água gelada é efetuado por ele próprio. É provido de um sensor de fluxo de água gelada (*flow-switch*), acertado para a sua vazão mínima (de acordo com as orientações do fabricante) protegendo, desta forma, a operação na eventualidade de falta de fluxo de água nos evaporadores. Possui válvulas de bloqueio na saída do evaporador e na saída do condensador. Se essas válvulas não apontar estado de aberto, ou mesmo após a partida, será acionado um sinal de alarme, uma falha é gerada e apontada no sistema e outro *chiller* será escolhido para substituição. Eles suprem todos os condicionadores de ar do

edifício, obedecendo a seguinte sequência: abertura da válvula de bloqueio de água gelada, acionamento da bomba, abertura da válvula de bloqueio de água de condensação, acionamento da bomba de condensação. Eles só serão desligados quando a média da capacidade instantânea dos 500 TR for inferior a 80% por mais de vinte minutos ou quando o sensor de vazão do *by-pass* for maior que o *setpoint*de vazão. A pressão diferencial da água nas redes de distribuição de água gelada é monitorada em cada circuito por meio de sensores de pressão diferencial nos andares do edifício. Considerando que a vazão de água gelada através dos circuitos dos condicionadores de ar é variável em função da carga térmica do prédio, a pressão diferencial também varia devendo ser controlada. Os sinais de pressão diferencial modulam proporcionalmente a rotação das bombas por meio de variadores de frequência, mantendo constante a pressão diferencial. A partir do momento em que a vazão e a carga térmica medida no tubo de *by-pass*seja proporcional à capacidade de um *chiller*, um destes equipamentos será desligado. Este processo é feito por meio de *software* que analisa os valores correspondentes ao percentual de carga nos *chillers*, a vazão de água no *by-pass* e a carga térmica.

## Objetivos

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de um resfriador (*chiller*) de absorção via analise e processamento de dados operativos coletados de forma continua por uma semana. O resfriador fornece água gelada para os equipamentos de climatização de ar situados em um edifício empresarial na cidade de Santos.

## Material e métodos

O *chiller* analisado neste trabalho tem circuito de absorção por queima direta de gás natural da marca *York- Johnson Controls*, modelo YWA-YX, 1756kW, com capacidade de 500 TR, onde o evaporador, tipo casco tubo, tem capacidade de refrigeração de 104kcal/h, temperatura de entrada 12,6°C, temperatura de saída 6,5°C e vazão 228,8 $m^3/h$. O condensador a água tem temperatura de entrada de 29,4°C, temperatura de saída 36,6°C e vazão 361$m^3/h$. Utiliza gás refrigerante de brometo de lítio. O *software* é do sistema *Johnson* e os sensores da marca *York*. Para determinar a eficiência de um ciclo de refrigeração a vapor foi usado o coeficiente de performance, COP, que é um critério importante na análise de sistemas de refrigeração.

Para se obtera eficiência térmica do *chiller,* foi utilizado cálculos matemáticos do caudal mássico (Eq.1), energia removida da corrente gelada (Eq.2), energia removida da corrente quente (Eq.3) e COP (Coeficiente de Performance do Ciclo Termodinâmico) descrito na (Eq 4).

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad \text{(Eq.1)}$$

$$E_u = m_{gel} \cdot C_P \cdot (T_{gel,ent} - T_{gel,saí}) \quad \text{(Eq.2)}$$

$$E_a = m_q \cdot C_P \cdot (T_{q,ent} - T_{q,saí}) \quad \text{(Eq.3)}$$

$$COP = \frac{E_u}{E_a} \quad \text{(Eq.4)}$$

Onde: $Q_m$- caudal mássico [kg/s]; ρ- densidade da água [kg/m³]; Q - vazão volumétrica da água [m³/h]; $E_u$- energia removida da corrente gelada [kW]; $m_{gel}$- caudal mássico da corrente de água gelada [kg/s]; $C_P$- calor específico da água [kJ/kg.K]; $T_{gel,ent}$- temperatura de entrada da corrente água gelada [°C]; $T_{gel,saí}$ - Temperatura de saída da corrente de água gelada [°C]; $E_a$- Energia fornecida pela corrente quente [°C]; $m_q$- Caudal mássico da corrente de água quente [kg/s]; $T_{q,ent}$ - temperatura de entrada da corrente de água quente [°C]; $T_{q,saí}$ - temperatura de saída da corrente de água quente [°C] e $COP$- Coeficiente de performance do ciclo termodinâmico [adimensional].

## Resultados

Os dados foram coletados durante sete dias consecutivos, conforme demonstrado na tabela 1:

**Tabela 1- Dados do *chiller*de absorção.**

| | CONDENSADOR | | | | | EVAPORADOR | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dias** | **$Q_{cond}$ [m³/h]** | **$m_{gel}$ [kg/s]** | **$T_{gel.ent}$ [°C]** | **$T_{gel.sai}$ [°C]** | **$E_u$ [kW]** | **$Q_{evap}$ [m³/h]** | **$m_q$ [kg/s]** | **$T_{q.ent}$ [°C]** | **$T_{q.sai}$ [°C]** | **$E_a$ [kW]** | **COP [adm]** |
| 1 | 362,54 | 100,71 | 32 | 29,5 | 251,78 | 229,99 | 63,89 | 13 | 8,5 | 287,51 | 0,88 |
| 2 | 357,32 | 99,26 | 30 | 27 | 297,78 | 226,64 | 62,96 | 13 | 9 | 251,84 | 1,18 |
| 3 | 363,28 | 100,91 | 33 | 30 | 302,73 | 228,56 | 63,49 | 15 | 11 | 253,96 | 1,19 |
| 4 | 366,21 | 101,73 | 30,5 | 27 | 356,06 | 229,04 | 63,62 | 13 | 9 | 254,48 | 1,40 |
| 5 | 358,78 | 99,66 | 33 | 25,5 | 539,10 | 228,56 | 63,49 | 15 | 11 | 253,96 | 2,12 |
| 6 | 361,73 | 100,48 | 32,5 | 29 | 351,68 | 233,98 | 64,99 | 14 | 11 | 194,97 | 1,80 |
| 7 | 350,94 | 97,48 | 31 | 27,5 | 341,18 | 225,92 | 62,76 | 13 | 9 | 251,04 | 1,36 |

## Discussão

Segundo Oliveira Junioret al.2004 [3], um *chiller* apresenta um COP de aproximadamente 1, sendo que o ideal seria 2.Vários parâmetros influem no desempenho do

ciclo de refrigeração,que na verdade sãoalteradores do ciclo com a finalidade de aumentar a sua eficiência. Entre esses fatores tem-se quequando atemperatura de evaporação diminui resulta no decréscimo do COP e, quando a temperatura de condensação estiver elevada menor será o valor do COP.Os dados mostram que no primeiro dia, teve o menor COP da pesquisa com 0,88, devido ter havido uma alta temperatura de saída de água gelada do condensador de 29,5$^{o}$C e a menor temperatura de saída de vapor quente do evaporador de 8,5$^{o}$C. No dia 5 ocorreu o maior COP com 2,12, em razão denesse dia a temperatura de água gelada de saída do condensador ser de 25,5$^{o}$C, sendo menor do que todos os outros dias da pesquisa e a temperatura quente de vapor de saída do evaporador de 11$^{o}$C estar elevada. Nos dias 2 e 3 tiveram COP próximos de 1,18 e 1,19 respectivamente, em virtude das diferenças entre as temperatura de entrada (30 e 33$^{o}$C) e saída de água gelada (27 e 30$^{o}$C) terem a mesma diferença, no caso de 3$^{o}$C e as temperaturas de entrada (13 e 15$^{o}$C) e saída do evaporador (9 e 11$^{o}$C), também, tiveram uma diferença semelhantes entre elas de 4$^{o}$C. No dia 6 mostrou um COP de 1,80, sendo o segundo maior de toda a pesquisa. Já nos dias 4 e 7 obteve-se no condensador temperaturas de entrada de 30 e 30,5$^{o}$C e de saída de 27 e 27,5$^{o}$C respectivamente, portanto, com uma pequena diferença de 0,5$^{o}$C entre elas e exatamente iguais na entrada (13$^{o}$C) e saída (9$^{o}$C) do evaporador, apresentando um COP muito próximo de 1,40 e 1,36 respectivamente.

**Conclusões**

Com base nos resultados apresentados, foi possível concluir que os valores do COP foram durante esta pesquisa próximos aos ideais entre 1 e 2. Devido aos equipamentos serem totalmente automatizado, inclusive com sensores de temperatura e pressão e, também, foi possível ajustar o *setpoint,* que apesar de ser analógico, foi ajustado manualmente para se obter a melhor temperatura de vazão de entrada do *chiller* alcançando-se assim sempre o melhor rendimento do ciclo termodinâmico e consequentemente o equipamento trabalhou de forma satisfatória.

**Referências bibliográficas**

1. ASHRAE STANDARD (2010**).** Thermal environmetal conditions for human occupancy. pp.4. Atlanta:USA. ISSN 1041-2336.
2. Medeiros,P.S.G.; Barbosa,C.R.F. (2009). Análise do coeficiente de performance de um chiller doméstico operando com o R-401A em regime transiente. Revista Holos, ano 25. v. 4. pp.63.doi.org10.15628/holos.2009.347.

3. OliveiraJúnior, S.; Tribess, A.; Hernandez Neto, A; Sanzovo,F. F. A.(2004) Sistemas de Refrigeração por Absorção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo:SP.
4. Sá, A.F.R. (2016). Guia de aplicações de gestão de energia e eficiência energética. Porto: Pubindústria, Edições Técnicas. 3º ed. ISBN: 9789897231544.
5. Xavier, A.A.P. (2000). Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - Teoria física aliada a estudos de campo. 267f. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis:SC.