

ANÁLISE ENERGÉTICA E FINANCEIRA DOS EFEITOS DA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO NO DESEMPENHO DE PLANTAS DE REFRIGERAÇÃO

Renato Vinícius dos Santos, renato.santos@almg.gov.br¹, Paulo Eduardo Lopes Barbieri, barbieri@cefetmg.br¹ André Guimarães Ferreira, andre.guimaferreira@gmail.com¹, Tiago de Freitas Paulino, tiagopaulino@cefetmg.br¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Av. Amazonas 7.675, Nova Gameleira, Belo Horizonte (MG), 30510 -000, Brasil.

RESUMO: *Os sistemas de refrigeração correspondem a uma parcela importante do consumo de energia elétrica no planeta, nesse cenário, soluções que promovam o aumento da eficiência energética de plantas e equipamentos de refrigeração podem auxiliar na redução dos custos operacionais e promover a sustentabilidade ambiental. O objetivo deste trabalho é avaliar energeticamente e financeiramente os resultados da redução da temperatura de condensação em plantas de climatização operadas com chiller's. A análise foi realizada a partir de testes em uma planta de climatização de um edifício comercial localizado em Belo Horizonte/Brasil. Durante os testes, foi reduzida a temperatura da água de condensação em 2,5°C em condições psicométricas e carga térmica semelhante. Ficou comprovado que a partir do aumento da demanda das torres de resfriamento e consequente diminuição da temperatura de saída da água de condensação, é possível obter uma redução no consumo elétrico da planta na ordem de 87±17 kWh/dia, gerando uma economia de R\$ (13,5±2,6) mil por ano. Comprovou-se que a redução da temperatura de condensação em plantas de refrigeração pode proporcionar redução no consumo de energia elétrica com possível aumento da vida útil do chiller devido à redução nas temperaturas e pressões na descarga do compressor.*

PALAVRAS-CHAVE: CHILLER, TEMPERATURA DE CONDENSAÇÃO, ANÁLISE ENERGÉTICA, ANÁLISE FINANCEIRA

ENERGY AND FINANCIAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF REDUCING CONDENSING TEMPERATURE ON THE PERFORMANCE OF REFRIGERATION PLANTS

ABSTRACT. *Refrigeration systems correspond to an important portion of electrical energy consumption on the planet. In this scenario, solutions that promote increased energy efficiency in plants and refrigeration equipment can help reduce operational costs and promote environmental sustainability. The objective of this work is to evaluate energetically and financially the results of reducing the condensation temperature in air conditioning plants operated with chillers. The analysis was carried out based on tests in an air conditioning plant in a commercial building located in Belo Horizonte/Brazil. During the tests, the temperature of the condensation water was reduced by 2,5°C under similar psychometric conditions and thermal load. It was proven that from the increase in demand from cooling towers and the consequent decrease in the condensation water outlet temperature, it is possible to obtain a reduction in the plant's electrical consumption in the order of 87±17 kWh/day, generating savings of R \$ (13,5±2.6) thousand per year. It has been proven that reducing the condensation temperature in refrigeration plants can provide a reduction in electrical energy consumption with a possible increase in the useful life of the chiller due to the reduction in temperatures and pressures at the compressor discharge.*

KEYWORDS: CHILLER, CONDENSING TEMPERATURE, ENERGY ANALYSIS, FINANCIAL ANALYSIS

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) são um dos principais contribuintes do consumo de energia elétrica em um edifício. Atualmente, um dos grandes desafios da engenharia é a otimização dos processos com a finalidade de reduzir custos, aumentar a produtividade e atender critérios de sustentabilidade (Azevedo, 2019). A revisão de parâmetros e procedimentos operacionais pode proporcionar bons ganhos de desempenho e eficiência nos sistemas HVAC (Azevedo, 2019).

Os sistemas de água gelada possuem uma operação complexa e sequencial, portanto existem algumas estratégias de controle e operação que podem otimizar o processo (Azevedo, 2019). Um dos modos de operação mais comuns atualmente é através do ajuste nas temperaturas de controle do processo. Em sistemas de refrigeração operados por chiller's, para reduzir a temperatura de condensação é necessário aumentar a demanda nas torres de resfriamento proporcionando um aumento da potência elétrica consumida pelo sistema de condensação, neste modo de funcionamento as bombas e ventiladores funcionam durante períodos mais longos, neste caso, o aumento no consumo elétrico do sistema de condensação pode ser compensada com a redução no consumo elétrico do sistema de compressão a partir da redução na temperatura de condensação (Quereshi, 2007).

O chiller é o equipamento que consome maior quantidade de energia no sistema, em média, o chiller é responsável por cerca de 85% da energia consumida por todos os equipamentos da planta de refrigeração, portanto, qualquer alternativa que busque melhorar sua eficiência pode levar a resultados econômicos relevantes (Furlong et al. 2005).

Na literatura foram encontrados alguns trabalhos sobre o uso da parametrização das temperatura de controle para otimização de sistemas de refrigeração. Furlong et al. (2005) estudaram formas para otimização de um sistema de condensação de uma planta de refrigeração composta de um chiller centrífugo com capacidade de 1.750kW. Um modelo matemático foi sugerido e validado. Os efeitos do aumento e redução do fluxo de água condensada na eficiência do chiller foram estudados. Os autores concluíram que fluxos de água maiores reduzem o consumo de energia elétrica do sistema, mas diminuem a vida útil dos equipamentos do sistema. Zannis et al. (2006) apresentaram um modelo matemático de uma torre de resfriamento úmido por contra fluxo para uma unidade de refrigeração por absorção LiBr-H₂O com capacidade de 722kW. Os fenômenos que ocorrem dentro da torre foram estudados e um modelo matemático foi sugerido e validado. Os autores concluíram que o aumento da vazão de ar insuflado pela torre em uma dada temperatura de bulbo úmido diminuiu a temperatura de saída da água condensada, elevando a eficiência da torre proporcionando um aumento no COP da unidade de refrigeração.

Todeschini (2011) analisou um ciclo de refrigeração de uma cervejaria com capacidade de 1906kW. Foi modelado um sistema de refrigeração. O autor concluiu que a escolha de temperaturas de condensação adequadas de acordo com as condições externas proporcionou uma economia média de 8% na potência de compressão da unidade de refrigeração. Azevedo (2019) apresentou um estudo para otimização de uma planta de refrigeração a partir da redução da temperatura da água de condensação. Foi modelada e simulada uma planta com um chiller centrífugo de 1.760kW de capacidade. A torre de resfriamento operou em diferentes set-points para a temperatura da água. O autor comprovou que a redução do set-point garantiu o aumento na eficiência do chiller com redução no consumo elétrico total da planta. A economia operacional anual foi de R\$96.000,00. O resumo dos trabalhos estudados são apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1. Resumo dos trabalhos relevantes encontrados na literatura.

Autor	Tipo	Sistema	Capacidade	Resultado
Zannis <i>et al.</i> (2006)	Modelagem	Torre de resfriamento de contrafluxo Chiller de absorção LiBr-H ₂ O	722kW	O aumento da vazão de ar fornecido pela torre a uma determinada temperatura de bulbo úmido diminuiu a temperatura de saída da água condensada, aumentando a eficiência da torre levando a um aumento do COP da unidade de resfriamento do sistema.
Furlong <i>et al.</i> (2005)	Modelagem	Alguns modelos de torre de resfriamento Chiller centrífugo resfriado a água	1750kW	Maiores vazões de água nas torres reduzem o consumo de energia elétrica do sistema, mas encurtam a vida útil dos equipamentos
Todeschini (2011)	Modelagem	Chiller de parafuso refrigerado a ar	1906kW	A escolha de temperaturas de condensação adequadas de acordo com as condições externas proporcionou uma economia média de 8% na potência de compressão
Azevedo (2019)	Modelagem	Torre de resfriamento de contrafluxo Chiller centrífugo refrigerado a água	1760kW	Ficou comprovado que o aumento da demanda da torre com a redução da temperatura da água de condensação garante uma economia de energia na operação com o aumento da eficiência do Chiller, a relação de economia operacional entre os equipamentos é de 4,73 O sistema operando na menor temperatura de condensação possível de acordo com as condições climáticas durante o horário comercial resultou em uma redução de 28% no consumo de energia elétrica do prédio e um retorno anual de 96 mil reais por ano

Fonte: Autor

No presente trabalho pretendemos avaliar experimentalmente os efeitos obtidos com a redução da temperatura da água de condensação em uma planta de refrigeração de grande porte operada por chiller. Estes dados serão relevantes para avaliar novas formas de otimização para plantas similares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dispositivo experimental

O dispositivo experimental consiste em uma planta de produção e distribuição de água gelada com 844kW de capacidade de refrigeração instalada, composta por dois chiller's com 422kW de capacidade de refrigeração. Cada chiller avaliado possui dois compressores do tipo parafuso operando com fluido refrigerante R22. A central de condensação possui três torres de resfriamento evaporativo em contracorrente com capacidade de 450kW cada. Os dados técnicos dos equipamentos são apresentados no Quadro 2.

A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático da planta de refrigeração onde é representada as posições dos sensores para medição dos parâmetros que foram analisados. Os sensores de temperatura de entrada e saída de água gelada e os sensores de temperatura de condensação e evaporação do fluido refrigerante foram integrados ao chiller na fábrica. Os sensores de vazão volumétrica de água condensada e de água gelada já se encontravam incorporados na tubulação do sistema. Os demais sensores, foram incorporados a partir de instrumentos externos instalados na planta de refrigeração particularmente para os testes. Fotos do dispositivo experimental implementado em campo são mostradas na Figura 2. Por sua vez, os dados técnicos da instrumentação utilizada e os parâmetros técnicos que foram analisados nos testes estão apresentados no Quadro 3.

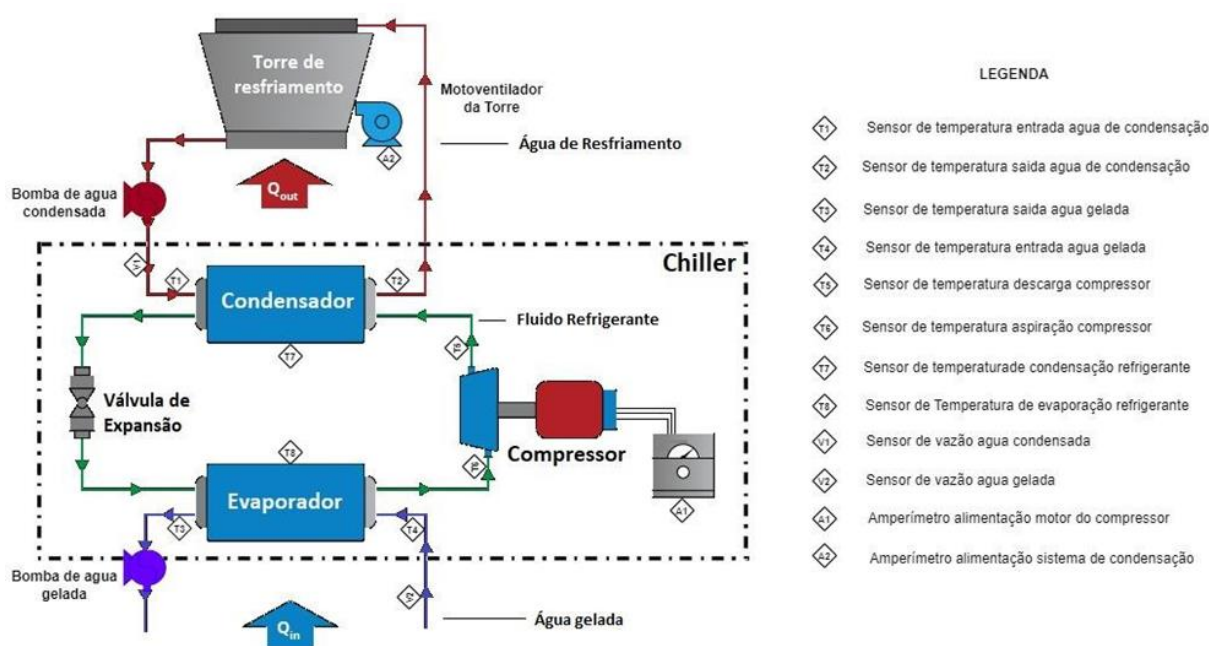
Os valores para pressão de condensação e evaporação do fluido refrigerante foram calculados pelo software do controlador do chiller com base nos valores tabelados para temperatura de condensação e evaporação do fluido refrigerante.

QUADRO 2. Dados técnicos dos equipamentos e componentes da planta.

Chiller RTWA 125		Compressor de Refrigeração		Evaporador	
Refrigerante	R22	Rotação	3600 rpm	dimensões	2,3 x 0,27 metros
Carga de fluido refrigerante	32,5kg +32,5kg	Potência elétrica	60 kW	Material	Cobre
fornecimento elétrico	3 Fases-220 Volts-60 HZ	Capacidade de refrigeração	210 kW	Número de tubos	80
Corrente nominal máxima	190 Amperes	capacidade volumétrica	265 m ³ /h	Diâmetro interno do tubo	16mm
Potência elétrica	120kW	Fator de Potência	0,83	Comprimento do tubo	1,75m
Potência de resfriamento	420kW	Refrigerante	R22	Parede do tubo	1mm
Compressores/ model	2 / CHHN060	Fabricante	Trane		
Fabricante	Trane	Modelo	CHHN060G0069A		
Dados do Condensador		Torre de Refrigeração		Bomba de água de Condensação	
Dimensões	3,2 x 0,40 metros	Capacidade	128 TR	Altura Manométrica	25 mca
Material	Cobre	Vazão Volumétrica	91,0 m ³ /h	Vazão Volumétrica	91,0 m ³ /h
Número de tubos	236	Temperatura da água quente	35°C	Potência	12,5 cv
Diâmetro interno do tubo	19mm	Temperatura da água fria	25°C	Modelo	D1020
Comprimento do tubo	2,5 metros	Perda por evaporação	0,88%	Fabricante	Worthington
Parede do tubo	1mm	Perda de arrasto	0,01%	Válvula de Expansão Eletrônica	
Bomba de água gelada		Perda de carga	3 mca	Conexão de entrada	1 1/8"
Altura Manométrica	25mca	vazão volumétrica Ventilador	300 m ³ /h	Conexão de saída	1 3/8"
Vazão Volumétrica	65 m ³ /h	Fabricante	Alfaterm	Modelo	SEHI 100
Potência	25 cv	Modelo	INS-425/5/7	Fabricante	Sporlan/Parker

Fonte: Autor

FIGURA 1. Diagrama da planta de refrigeração com os pontos de medição e sensores.



Fonte: Autor

FIGURA 2. Fotos do dispositivo experimental implementado em campo, montagem da instrumentação no *chiller*.



Fonte: Autor

QUADRO 3. Dados técnicos da instrumentação implementada na planta.

PARÂMETRO MEDIDO	INSTRUMENTO	FABRICANTE	FAIXA DE MEDIÇÃO	RESOLUÇÃO	INCERTEZA EXPANDIDA (Para faixa dos valores medidos)
Temperatura da água na entrada do condensador	PT 100	Trane	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Temperatura da água na saída do condensador	PT 100	Trane	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Temperatura da água na entrada do evaporador	PT 100	Trane	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Temperatura da água na saída do evaporador	PT 100	Trane	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Vazão volumétrica água gelada	Sensor ultrassônico	Vega	0 a 1000 m³/h	1 m³/h	±6,4m³/h
Vazão volumétrica água de condensação	Sensor ultrassônico	Vega	0 a 1000 m³/h	1 m³/h	±6,4 m³/h
Temperatura de evaporação do fluido refrigerante	PT 100	Trane	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Temperatura de condensação do fluido refrigerante	PT 100	Trane	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
temperatura do fluido refrigerante na descarga do compressor	PT 100	EOS	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Temperatura do fluido refrigerante na sucção do compressor	PT 100	EOS	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Temperatura do fluido refrigerante na entrada do dispositivo de expansão	PT 100	EOS	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Corrente elétrica consumida pelo motor do compressor	Alicate amperímetro	Minipa	0 a 300 A	1 A	±6,4 A
corrente elétrica consumida pela central de condensação	Alicate amperímetro	Minipa	0 a 300 A	1 A	±6,4 A
Temperatura Ambiente	PT 100	Akso	-10 a 120 ° C	0,1 ° C	±1,0° C
Umidade relativa	Sensor resistivo	Akso	5 a 100%	1%	±4,3%

Fonte: Autor

2.2 Metodologia

A planta de refrigeração avaliada está localizada na cidade de Belo Horizonte/Brasil sendo utilizada para climatização de um edifício comercial com 5.500 m². Foram realizados dois testes na planta de refrigeração. O teste 1 foi realizado no dia 03 de março de 2023 e o teste 2 realizado no dia 10 de março de 2023. Os dois testes ocorreram durante o horário comercial entre 8h00 as 17h00 sendo coletados os dados na planta de hora em hora. Os testes foram executados uma única vez em virtude da dificuldade operacional de executá-los.

Durante os procedimentos foram acionados os climatizadores (Fancoil's) dos ambientes totalizando 800 kW de capacidade de refrigeração. Os dois chiller's da planta foram acionados para suprir a demanda de refrigeração.

No teste 1, o set-point de temperatura da água na saída da torre foi ajustada para 29,5 °C valor operacional usualmente utilizado e definido pelo fabricante durante os testes de comissionamento da planta, no teste 2 o mesmo set-point foi reduzido para 27,0°C, 2,5°C a menos que o valor operacional usual. A escolha de um valor 2,5°C abaixo do set-point usual deu-se para que os efeitos da redução da temperatura de retorno de água pudessem ser mensurados.

Observou-se entre os testes 1 e 2 uma variação pouco substancial nas condições psicométricas do ar e na carga térmica, sendo que estas variações podem ser desconsideradas para efeito de avaliação. Os parâmetros ajustados na planta de refrigeração são apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4. Parâmetros ajustados para o teste 1 e teste 2.

Parâmetros ajustados	Teste 1	Teste 2
Ponto de ajuste da temperatura da água gelada do <i>Chiller</i>	6,6 °C	6,6 °C
Pressão manométrica da água gelada	62,5 psi	62,5 psi
Carga térmica de refrigeração max / min / med	257,1 / 226,9 / 244,8 kW	196,6 / 272,3 / 230,2 kW
Ponto de ajuste da temperatura da água condensada da torre	29,5°C	27,0°C
Vazão volumétrica de água gelada	65 m ³ /h	65 m ³ /h
Vazão volumétrica da água condensada	91,0 m ³ /h	91,0 m ³ /h
Pressão manométrica de água condensada	17,0 psi	17,0 psi
Pressão atmosférica para a cidade de Belo Horizonte	688 mmHg	688 mmHg
Fator de potência do motor do compressor	0,83	0,83
Tensão de alimentação trifásica	220 Volts	220 Volts
Temperatura ambiente max / min / med	30,1 / 27,0 / 28,5°C	30,0 / 27,5 / 28,7°C
Umidade do ar max / min / med	64,0 / 50,0 / 54,8 %	64,0 / 47,5 / 53,3 %

Fonte: Autor

2.3 Cálculo dos parâmetros

A partir da equação para o cálculo da potência trifásica (Marques, 2015) encontrou-se a potência consumida pelo *chiller* e pela central de condensação através da Equação 1.

$$\dot{W}_e = \sqrt{3} \cdot T \cdot I \cdot \theta \quad (1)$$

Onde W_c é a potência elétrica consumida [W], T a tensão da alimentação elétrica [V], I corrente elétrica consumida pelos compressores [A] e θ o fator de potência de acordo com valores pré-estabelecidos no Quadro 4.

O cálculo da carga térmica de refrigeração foi obtido a partir do balanço de energia no evaporador conforme a Equação 2.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_w \cdot C_{ew} \cdot \Delta T_w \quad (2)$$

Onde Q_e é a carga térmica de refrigeração $[W]$, Onde $\dot{m}_w$ é a vazão mássica de água no evaporador $[Kg/s]$, C_{ew} é o calor específico da água $[J/KgK]$, ΔT_w é a variação da temperatura da água no evaporador $[K]$.

O cálculo do coeficiente de desempenho do chiller e da planta foram obtidos a partir da Equação 3 e Equação 4.

$$COP_c = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{cc}} \quad (3)$$

$$COP_p = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{cc} + \dot{W}_{cp}} \quad (4)$$

Onde Cop_c é o coeficiente de desempenho do *chiller*, Cop_p é o coeficiente de desempenho da planta Q_e é a carga térmica de refrigeração $[W]$, $\dot{W}_{cc}$ é a potência consumida pelo *chiller* $[W]$ e $\dot{W}_{cp}$ a potência consumida pela central de condensação $[W]$.

O cálculo da energia consumida pela planta foi obtido a partir da Equação 5.

$$E = \int \dot{W} \, dt \quad (5)$$

Onde E é a energia consumida pela planta $[Wh]$ e $\dot{W}_c$ a potência total consumida pela planta $[W]$.

O cálculo do custo de operação anual da planta foi obtido a partir da Equação 4.

$$C_t = E \cdot d \cdot m \cdot T_r \quad (6)$$

Onde C_t é o custo de operação anual $[R\$]$, d número de dias de operação no mês, m número de meses em operação por ano e T_r o valor da tarifa cobrada pela concessionária de energia $[R\$]$. O valor de referência utilizado para a tarifa foi de R\$0,65/MWh referente ao mês de Abril de 2023 (CEMIG, 2023).

2.4 Análise das incertezas de medição

No presente trabalho foi realizada a análise das incertezas das medições experimentais, conforme procedimento descrito por Albertazzi (2008). Todos os instrumentos foram previamente calibrados. As incertezas expandidas (apresentadas no Quadro 3, definidas para uma probabilidade de enquadramento de 95%, foram determinadas utilizando-se com fontes de

incertezas os dados de calibração, o processo de medição e as resoluções dos sistemas de medição.

A propagação de incerteza indireta, obtida para as variáveis da Equação 1 até Equação 6, foi calculada conforme sugere Albertazzi (2008) partir da Equação 7.

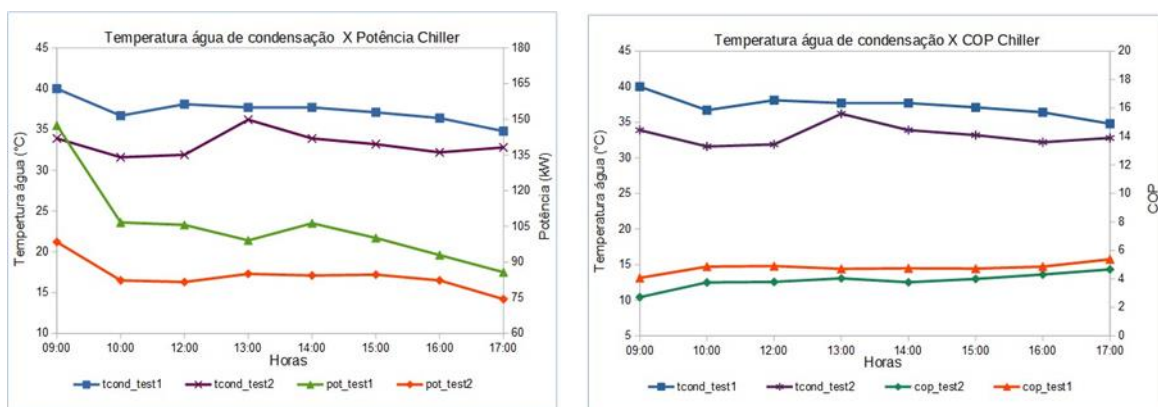
$$U(\eta) = \sqrt{\left[\frac{\partial \eta}{\partial x_1} U(x_1)\right]^2 + \left[\frac{\partial \eta}{\partial x_2} U(x_2)\right]^2 + \dots + \left[\frac{\partial \eta}{\partial x_n} U(x_n)\right]^2} \quad (7)$$

Onde η é a função da grandeza de saída, x são as variáveis de entrada, $U(\eta)$ é incerteza da grandeza de saída, $U(x)$ são as incertezas das variáveis de entrada medidas (incerteza do instrumento).

3. RESULTADOS

A Figura 3 mostra os efeitos da redução da temperatura da água de condensação na potência consumida e no COP do *chiller*. Como resultados finais obteve-se para o teste 2 uma redução média de 21,4±2,1 kW na potência elétrica consumida pelo *chiller* e a melhoria de 1,0±0,2 no valor no COP médio do *chiller*. Os maiores percentuais de melhoria foram observados nas faixas de maior demanda do equipamento como as 9:00 horas durante a partida do sistema onde ocorre maior demanda de refrigeração (momento no qual as temperaturas do ciclo são maiores, bem como a temperatura da água de condensação).

FIGURA 3. Efeitos da redução da temperatura da água de condensação na potência do *chiller* (à esq) e no COP do *chiller* (à dir).



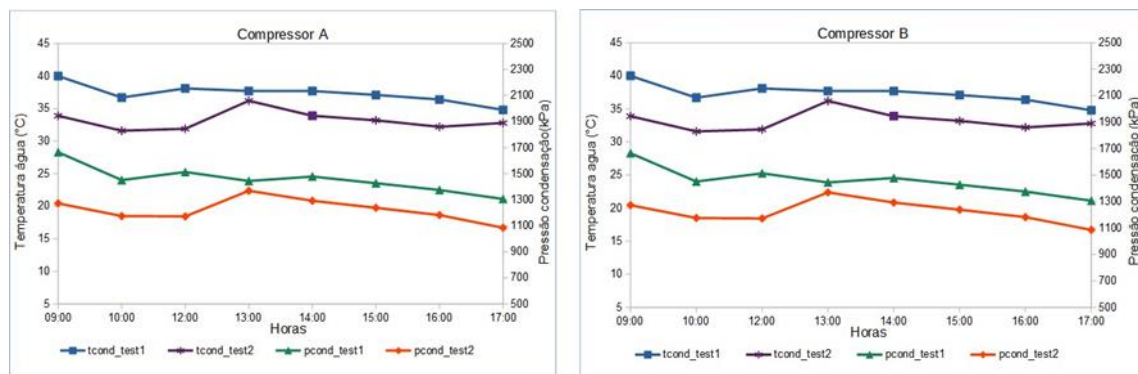
Fonte: Autor

Analisando a Figura 4 percebe-se que ao reduzir a temperatura da água de condensação (teste 2) obteve-se uma redução média de 15% na pressão de condensação do fluido refrigerante para os compressores A e B.

Analisando a Figura 5 percebe-se que ao reduzir a temperatura da água de condensação (teste 2) obteve-se uma redução média de 8% na temperatura do fluido refrigerante na descarga para os compressores A e B.

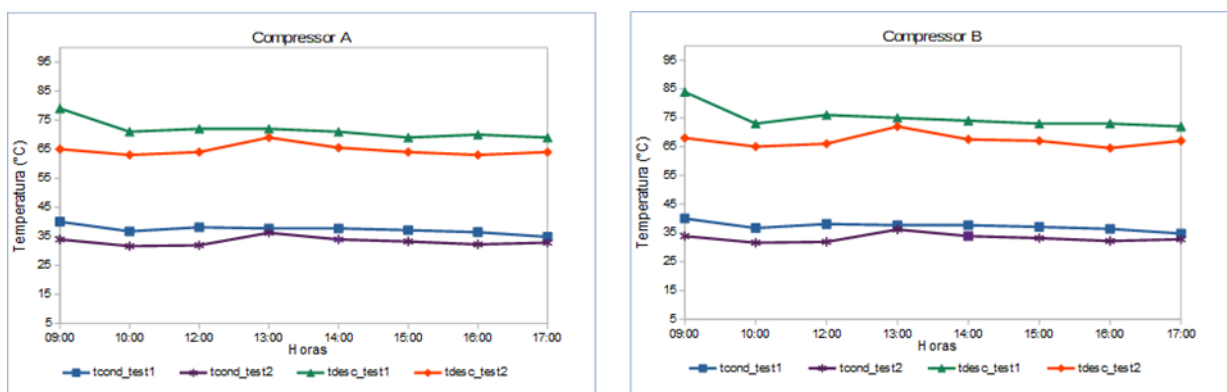
A redução da pressão e da temperatura do fluido refrigerante na descarga dos compressores de refrigeração resulta em uma redução no consumo de energia elétrica e no aumento da vida útil dos equipamentos devido à redução das cargas mecânicas aplicadas.

FIGURA 4. Efeitos da redução da temperatura da água de condensação na pressão de condensação compressores A (à esq) e B (à dir).



Fonte: Autor

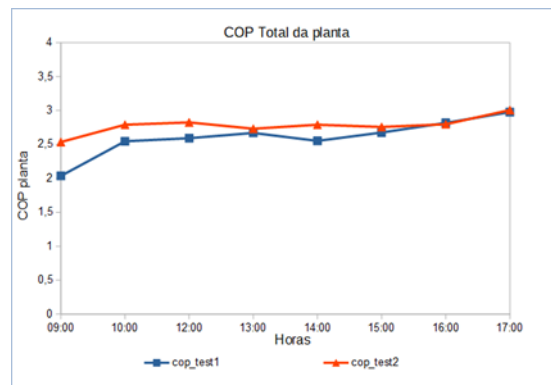
FIGURA 5. Efeitos da redução da temperatura da água de condensação na temperatura do fluido refrigerante na descarga para os compressores A (à esq) e B (à dir).



Fonte: Autor

A Figura 6 mostra os efeitos da redução da temperatura da água de condensação no COP total da planta. Obteve-se um aumento médio de $0,17 \pm 0,20$ no COP. A redução na temperatura da água de condensação se mostrou mais vantajosa justamente em pontos de maior demanda do sistema com uma elevação no COP total da planta em torno de $0,5 \pm 0,2$.

FIGURA 6. Efeitos da redução da temperatura da água de condensação no COP total da planta.

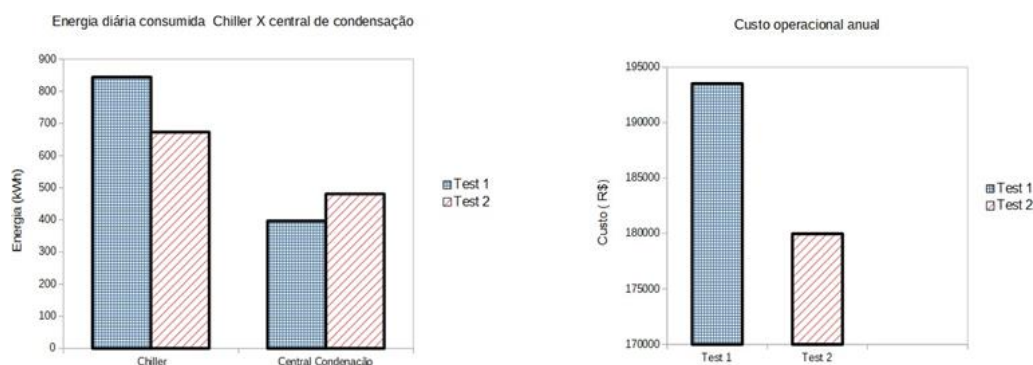


Fonte: Autor

Analisando a Figura 7, para o Teste 2 obteve-se uma redução de 87 ± 17 kWh/dia na energia elétrica consumida pela planta, correspondendo a uma redução anual no consumo de eletricidade da ordem de $20,6 \pm 4,0 \times 10^3$ kWh/ano e uma economia de R\$ $13,5 \pm 2,6 \times 10^3$ por ano de operação.

A relação de redução do consumo elétrico entre o chiller e a central de condensação para o teste 2 é de 2,03, ou seja, para cada 1 kWh consumido a mais pela central de condensação há uma redução de 2,03 kWh no consumo do Chiller.

FIGURA 7. Consumo elétrico diário do *chiller* e da central de condensação para os teste 1 e 2 (à esq). Custo anual do consumo de eletricidade na planta para os testes 1 e 2 (à dir).



Fonte: Autor

4. CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a analisar os resultados da redução da temperatura de condensação em plantas de refrigeração operadas por chiller's. A análise foi realizada a partir de testes utilizando uma planta de refrigeração em operação de um edifício comercial de 5.500 m² localizado na cidade de Belo Horizonte/Brasil. Foram realizados dois testes reduzindo entre eles a temperatura da água de saída da torre de resfriamento em 2,5°C em condições psicométricas e carga térmica semelhantes. Foi demonstrado que ao reduzir a temperatura da água de condensação é possível obter uma melhoria no COP médio do chiller em 1,0±0,2 e uma elevação do COP médio da planta em 0,17±0,20 sendo que a redução na temperatura da água de condensação se mostrou mais vantajosa em pontos de maior demanda do sistema. Como resultados obteve-se uma redução no consumo de energia elétrica na planta em torno de 87±17 kWh/dia gerando uma economia de R\$ 13,5 ±2,6 ×10³ por ano de operação. Conclui-se que a implementação da redução da temperatura de condensação em plantas de refrigeração operadas por chiller's proporciona redução no consumo de energia elétrica na planta com possível aumento na vida operacional do chiller devido à redução nas temperaturas e pressões na descarga dos compressores. Estes dados poderão contribuir futuramente para implementação de novas diretrizes para otimização operacional de plantas similares.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, ARMANDO; SOUSA, ANDRÉ ROBERTO. Fundamentos de metrologia científica e industrial. Barueri: Manole 407p, 2008..

AZEVEDO, V. Efeito da baixa temperatura da água do condensador na operação de uma CAG. XIV CONBRAVA. São Paulo, 2019

CASTRO, J. Apostila de Refrigeração. Itajubá: UNIVASF, Folheto, 2006

CEMIG, 2023. <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>.

FURLONG, W.; MORRISON, J. “Water Optimization – Cooler Chiller – Cooling Tower Combinations”, Institute Journal, Vol 26, 2005.

MARQUES, L.S.B. Sistemas trifásicos. Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil, 2015.

QUERESHI, B.A.; ZUBAIR, S.M., 2007. Prediction of evaporation losses in evaporative fluid coolers. Applied Thermal Engenharia 27 pp. 520-527, 2007.

SCARPIN, B. Eficiência energética do chiller em edifícios. Energia do cubo, 2020.

TODESCHINI, A. Propostas de economia de energia em um sistema de refrigeração. Trabalho de Conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre- Brasil, 2011.

TAYLOR, J.R, Introduction to error analysis. Bookman, 2012.

TRANE. Manual de operação e manutenção de resfriadores de líquido RTWA-IOM-1A, 2007

ZANNIS, T.Y.C.; PAPAEFTHIMIOUN, V.D.; ROGDAKIS, E. D. Thermodynamic study of wet cooling tower performance. National Technical University of Athens. Jornal Internacional de Pesquisa Energética Int.J. Energia Res. 30:411–426, 2006.