

# AUTOMAÇÃO DE TORRES DE ARREFECIMENTO COM O USO DE SET POINT FLUTUANTE COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

*Data de aceite: 01/03/2024*

### **Alexandre Fernandes Santos**

Universidade Beira Interior, Covilhã,  
Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

### **Darlo Torno**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Daiane Busanello**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Fabio Francisco Ferreira**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Heraldo José Lopes de Souza**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

### **Natalia Tinti**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

### **Márcia Cristina de Oliveira**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

### **Sandro Adriano Zandoná**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná  
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

### **Eliandro Barbosa de Aguiar**

Fapro - Faculdade Profissional. Curitiba -  
Paraná

**RESUMO:** Este trabalho tem como foco apresentar os estudos realizado em uma determinada indústria que possui um sistema de climatização com condensação a água, onde há uma Central de Água de Condensação que possui um total de seis torres de arrefecimento. O foco deste estudo é apresentar a melhoria na eficiência energética do sistema aplicando um novo conceito de automação que chamamos de “Set Point Modulante para Torres de Arrefecimento”. O sistema “tradicional” possui apenas uma opção de temperatura de saída de água das torres de arrefecimento, porém, nos dias em que as condições climáticas sejam favoráveis, há como diminuir a temperatura de saída da água das torres assim fazendo com que os resfriadores de líquidos (chillers) tenham um aumento de performance, refrigerando mais e consumindo menos energia, aumentado assim seu Coeficiente de Performance (COP). Com esta modulação na temperatura de Set Point, em dias com

menor temperatura de bulbo úmido no ar externo é possível diminuir até 8°C (diminuindo dos atuais 28°C para 20°C) a temperatura de saída da água das torres (temperatura limite para entrada de água de condensação nos chillers existentes). Em média o Coeficiente de Performance (COP) dos Chillers melhora 2% para cada 1°C de diminuição da temperatura da água que sai das torres de arrefecimento, como estamos propondo diminuir (quando possível) a temperatura da água para 8°C, em determinados momentos o sistema terá um aumento de rendimento de 16%. Segundo os estudos desenvolvidos, o ganho com implementação desta automação será uma economia de energia elétrica de aproximadamente 682.300 kW por ano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Torres de Arrefecimento, Coeficiente de Performance, Eficiência Energética, Economia de Energia.

**ABSTRACT:** This work focuses on presenting studies carried out in a specific industry that has an air conditioning system with water condensation, where there is a Condensation Water Plant that has a total of six cooling towers. The focus of this study is to present the improvement in the system's energy efficiency by applying a new automation concept that we call "Modulating Set Point for Cooling Towers". The "traditional" system has only one option for the water outlet temperature from the cooling towers, however, on days when the weather conditions are favorable, it is possible to reduce the water outlet temperature from the towers, thus making that liquid coolers (chillers) have an increase in performance, cooling more and consuming less energy, thus increasing their Coefficient of Performance (COP). With this modulation in the Set Point temperature, on days with a lower wet bulb temperature in the external air it is possible to reduce the water outlet temperature from the towers (limit temperature for entry) by up to 8°C (reducing from the current 28°C to 20°C). of condensation water in existing chillers). On average, the Chillers' Coefficient of Performance (COP) improves by 2% for every 1°C decrease in the temperature of the water leaving the cooling towers, as we are proposing to reduce (when possible) the water temperature to 8°C, at certain times the system will have a 16% increase in performance. According to the studies developed, the gain from implementing this automation will be electrical energy savings of approximately 682,300 kW per year.

**KEYWORDS:** Cooling Towers, Coefficient of Performance, Energy Efficiency, Energy Saving.

## INTRODUÇÃO

Atualmente no mercado existem diversos tipos de equipamentos e tecnologias diferenciadas para promover o processo de climatização de ambientes. Um dos modelos muito usados, principalmente em indústrias é o sistema de expansão indireta. Este sistema consiste na concepção de ter um equipamento responsável por resfriar um fluido intermediário, esse equipamento é conhecido como "Resfriador de Líquidos" ou Chiller. O fluido intermediário na maior parte das aplicações é água, e em alguns casos específicos essa água recebe um aditivo que tem função anticongelante (propileno glicol é o mais recomendado), isso irá depender da aplicação. Esta água resfriada a uma temperatura próxima de 7°C é bombeada até os intercambiadores de calor que atendem os ambientes, esses equipamentos são denominados "Fancoils" (Manfredini et al, 2020).

Levando em consideração que normalmente esses equipamentos possuem grandes capacidade frigoríficas, e conseqüentemente um elevado consumo de energia, há uma busca incessante para promover melhorias do quesito eficiência energética desses sistemas. Os equipamentos que possuem o maior consumo de energia de todo o sistema são os *Chillers*. Estes equipamentos possuem os compressores que são responsáveis por este alto consumo de energia elétrica, e com o foco de melhorar o rendimento (também a confiabilidade do sistema dentre outras vantagens) dessas máquinas desenvolveu-se uma tecnologia que ao invés dos equipamentos rejeitarem o calor para o ambiente externo através da troca de calor direta com ar (forçando o ar a passar através da serpentina do condensador) circula-se água no trocador de calor do condensador, dissipando assim o calor na água, as vantagens de realizar este processo é que a água entra no condensador normalmente à uma temperatura inferior a temperatura do ar externo, conseguindo assim diminuir a temperatura de condensação do fluido refrigerante diminuindo as taxas de compressão do equipamento que conseqüentemente leva a uma melhoria do COP (Coeficiente de Performance) fazendo com que a máquina aumente sua capacidade frigorífica e ainda reduza o consumo de energia elétrica (Santos et al, 2019).

Para que o uso dos equipamentos com condensação seja possível é necessário acrescentar ao sistema Torres de Arrefecimento e bombas para circular a água entre as torres e os condensadores dos *Chillers*. As torres de arrefecimento são equipamentos que possuem por finalidade rejeitar o calor contido na água que circula através dos condensadores dos equipamentos de climatização, desta forma, diminuindo sua temperatura a ponto de conseguir resfriar os condensadores dos equipamentos novamente, em ciclo contínuo. A forma que as torres conseguem realizar a diminuição da temperatura da água é através do princípio de evaporação, conforme uma porcentagem da água que circula pela torre é evaporada há uma diminuição da temperatura do restante da água que circula pela torre. Em média, de 1 a 3% de toda a água que circula em torres de resfriamento (do tipo aberta, que é o modelo em que o estudo se baseia) é evaporada, sendo assim, há uma necessidade constante de reposição desta água (Manfredini et al, 2020).

A limitação da temperatura de saída da água das torres de arrefecimento está a atrelada temperatura de bulbo úmido do ar externo na admissão de ar e ao *Approach* da torre. O *Approach* é a capacidade que a torre de arrefecimento tem de se aproximar da temperatura de bulbo úmido, por exemplo: Se a torre tiver um *Approach* de 6°C, quando a temperatura de bulbo úmido do ar externo estiver em 25°C a temperatura da água será de 31° ou mais, caso a temperatura de bulbo úmido diminua para 15°C, a temperatura de saída desta água poderá chegar 21°C, sempre respeitando o seu *Approach* de 6°C (Garcia et al, 2020).

Outro fator de extrema importância quando se é falado em torres de arrefecimento é o “Salto Térmico”, que nada mais é que o diferencial de temperatura que a torre foi projetada para ter entre a entrada de água e a saída de água da torre, que deve ser

equivalente ao diferencial de temperatura dos equipamentos que a mesma atende. Por exemplo: se a torre foi projetada para ter um salto térmico de 10°C, quando a água entrar 45°C essa torre conseguirá fazer com que a água saia a temperatura de 35°C, importante ressaltar que o Salto Térmico também está limitado ao *Approach* 6°C (Garcia et al, 2020). Como a temperatura que a água arrefecida pelas torres de resfriamento está ligada diretamente a eficiência e consumo de energia dos Chillers, é possível afirmar que quanto maior a temperatura desta água, maior será o consumo do equipamento, e ao contrário também, quanto menor a temperatura desta água, menor será o consumo de energia do equipamento(Garcia et al, 2020).

Segundo a agência de energia do Governo da Índia, a cada 1 °C de acréscimo na temperatura da água da Torre, pode significar um acréscimo de 2,7% na energia do Chiller (Beeindia, 2023).

Um artigo recente da revista Suíça *Energies* esclarece que uma redução de 8,1 °C gerou aumento no COP (coeficiente de performance) de 20,1 % (aproximadamente 2,5% por °C de redução) (Kim et al, 2021).

Segundo o relatório divulgado pelas Nações Unidas, o acréscimo de 1 °C na temperatura entrada de água de condensação no Chiller pode gerar uma economia de 2 a 4%, e que a temperatura de entrada de água no condensador deve ser o mais baixa possível.

TABELA 1: O IMPACTO DO AUMENTO DA TEMPERATURA NA EFICIÊNCIA AVAC-R
<p>Um sistema de refrigeração coleta o calor indesejado a uma temperatura baixa e transfere esse calor para o ambiente circundante a uma temperatura mais alta. O consumo de energia depende do aumento de temperatura entre o produto a ser resfriado e o ambiente – com um aumento de temperatura maior, mais energia deve ser utilizada. O que muitos proprietários de instalações de refrigeração não percebem é que o aumento da temperatura tem um impacto dramático na eficiência energética:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ O aumento extra de temperatura de 1°C adicionará 2% a 4% à energia usada por uma planta.</li> </ul> <p>Através de um projeto deficiente ou de uma operação inadequada da planta, é fácil adicionar acidentalmente 10 ou 5 graus C extras ao aumento de temperatura – o que pode adicionar 20% a 40% ao consumo total de energia. Para o aumento de temperatura de um sistema AVAC-R é importante que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ A "extremidade fria" (o evaporador) deve estar na temperatura mais alta possível;</li> <li>■ A "extremidade quente" (o condensador) deve estar na temperatura mais baixa possível.</li> </ul>
<p><b>Consumo de energia para sistemas que falham em condições de alta temperatura ambiente (ATA)</b></p> <p>Os sistemas de refrigeração e ar condicionado utilizados em países muito quentes geralmente utilizam mais energia do que sistemas equivalentes em países mais frios, porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ A carga de resfriamento é maior para um determinado tamanho de edifício, e especialmente em condições de alta umidade.</li> <li>■ O aumento de temperatura é maior porque a "extremidade quente" da planta rejeita calor em uma temperatura ambiente muito mais alta.</li> </ul> <p>Estes dois impactos levam a um consumo de energia consideravelmente maior para sistemas refrigerantes e de ar condicionado nos países ATA.</p>

Tabela 1- O Impacto do Aumento da Temperatura na Eficiência Energética AVAC-R

Fonte: Unep; Theengineeringmindset, 2023.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nas pesquisas desenvolvidas, ficou clara a informação de que uma das formas de melhorar desempenho dos equipamentos é diminuir a temperatura de saída da água das torres de arrefecimento.

Uma determinada indústria de Curitiba tinha como meta melhorar a eficiência energética de seu sistema, e baseado nos equipamentos desta indústria foi desenvolvido um estudo, e o foco é justamente atuar na temperatura que a água sai das torres e entra no condensador dos chillers, assim começou-se o estudo.

O sistema desta indústria é composto por uma “Central de Água Gelada” com quatro Chillers e a capacidade de resfriamento total de é de 2.250 TRs (toneladas de Refrigeração). Esses equipamentos todo são do tipo condensação a água e estão interligados a um circuito com um total de seis torres de Arrefecimento da marca AlfaTerm que juntas possuem uma capacidade de resfriamento superiora 5.000 TR, essa capacidade superior se deve ao fato de que as torres também atendem a outros equipamentos que não fazem parte deste estudo.

Essas torres são todas do modelo: ASP 240D/5/30/4 – BGA, dimensionadas para uma vazão de água de 525 m<sup>3</sup>/h, *Approach* de 5,5 °C, salto térmico também de 5,5°C e capacidade frigorífica individual de 955 TRs.



Foto 1 – Placa de Identificação da Torre de Arrefecimento.

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Levando em consideração que o *Approach* destas torres é de 5,5°C (conforme especificação do fabricante) e que a cidade de Curitiba (local onde as torres estão instaladas), segundo a ABNT NBR 16.401 possui uma temperatura de bulbo úmido máxima de 23,2°C

na frequência de 0,4% das horas do ano, não temos como diminuir a temperatura de saída da água da torre de forma definitiva, pois se programarmos o Set Point para temperaturas inferiores a 28°C a torre não conseguirá atender em todas as horas do ano.

Atualmente a temperatura que está programada no sistema para que as torres de resfriamento alimentem os chillers é de 28°C, mas na maior parte das horas do ano, a temperatura de bulbo úmido está abaixo destes 23°C, ou seja, por causa das 0,4% das horas do ano, estamos enviando água mais quente para os chillers durante as outras 99,6% das horas no ano.

A solução encontrada foi desenvolver um sistema de automação que monitore constantemente as variações de temperatura de bulbo seco e que controle as torres de arrefecimento de forma que consiga enviar água na temperatura mais baixa possível para os condensadores dos chillers, extraindo o máximo de eficiência possível dos equipamentos, importante ressaltar que segundo o fabricante dos equipamentos, não é recomendado entrar com a água nos condensadores com temperatura inferior a 20°C. Desta forma podemos variar a temperatura da água entre 20 e 28°C, assim é possível sempre trabalhar no melhor ponto de eficiência dos equipamentos.

Para analisar a viabilidade técnico econômica de implantar essa automação o primeiro passo foi desenvolver o projeto para saber os custos e dificuldade de implantação do sistema. Os principais componentes para tornar essa automação possível são um painel de automação com dimensões de 0,8 m de largura, 0,7 m de altura e 0,30 m de profundidade, dentro deste painel haverá um CLP Marca Allen Bradley da linha CompactLogix, uma fonte, 10 cartões com entradas e saídas digitais e analógica para enviar e receber sinais dos periféricos (sensores, transmissores, conversores de frequência etc). Foi necessária a utilização de seis conversores de frequência (um para cada motor do ventilador, sendo que há um destes em cada torre de arrefecimento) da marca ABB modelo ACS580 que ficaram localizados internamente nos painéis elétricos existentes, pois havia espaço dentro dos gabinetes existentes. Também foram necessários sensores de Temperatura de bulbo úmido para o ar externo próximo a admissão do ar das torres de arrefecimento, e mais alguns sensores de temperatura e pressão da água no interior da rede hidráulica em diversos pontos estratégicos. Foram necessários mais alguns componentes para operação do sistema (Como infraestrutura de cabeamento elétrico, conversor de protocolo de comunicação etc) mas os principais componentes foram os anteriormente mencionados. O custo total de Obra (Material e mão de obra) ficou em aproximadamente R\$ 732.000,00 com prazo de execução de 90 dias devido ao prazo de entrega dos componentes do sistema.

O segundo passo foi analisar qual será a redução no consumo de energia elétrica dos equipamentos, para o início deste cálculo foi utilizado o Software Ashrae Weather Data Viewer (esse software mostra as informações das propriedades do ar como temperatura e umidade ao longo das 8.760 horas do ano, assim permitindo saber qual a temperatura de bulbo úmido de cada hora do ano) para mensurar o número de horas por ano que seria

possível diminuir a temperatura da água e trabalhar abaixo do *SetPoint* atual. Com base nos dados fornecidos pelo Software, será possível reduzir a temperatura da água em 7.921 horas no ano (de um total de 8.760 horas).

O terceiro passo foi mensurar qual o consumo de energia elétrica do sistema existente e qual seria o novo consumo de energia elétrica ao longo do ano conforme a variação de temperatura de bulbo úmido.

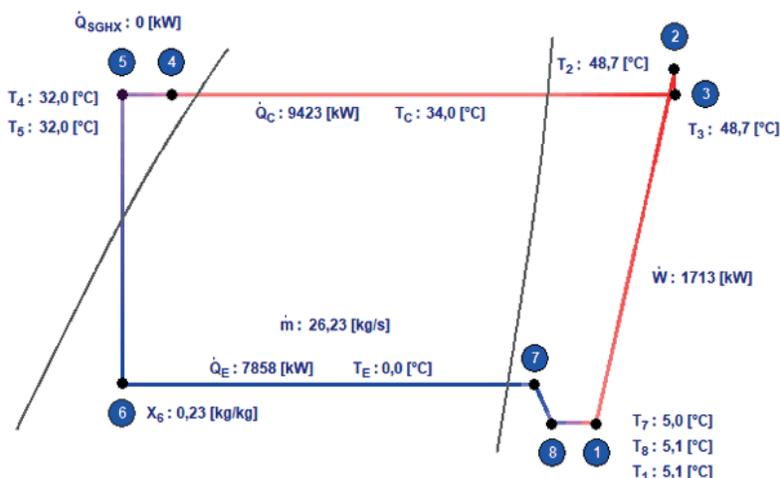


Figura 1 – Simulação com Temperatura de Condensação de 32°C.

Fonte: Software Cool Pack, 2024.

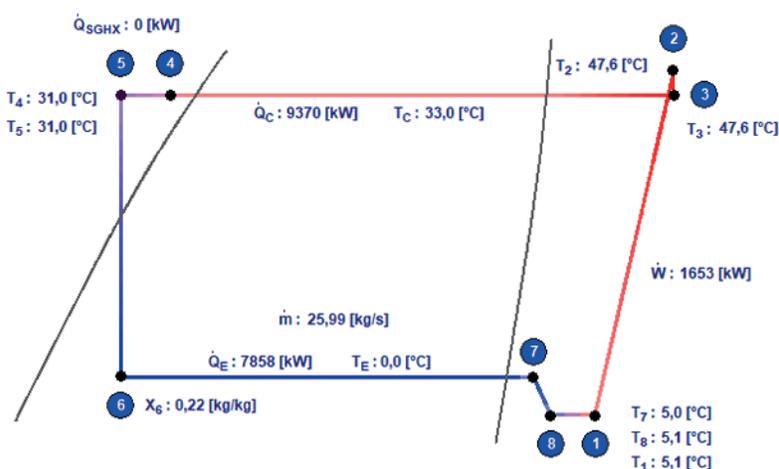


Figura 2 – Simulação com Temperatura de Condensação de 31°C.

Fonte: Software Cool Pack, 2024.

## ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os dados de Capacidade frigorífica e consumo de energia dos equipamentos foram inseridos em um software de simulações termodinâmicas e energéticas. Com base nas simulações realizadas através do Software Cool Pack, pode-se observar que para cada 1°C que diminui a temperatura de condensação dos equipamentos (como o diferencial de temperatura entre a condensação e água que entra no condensador é fixo, cada 1°C a menos a temperatura da água o sistema terá 1°C a menos na temperatura de condensação), há uma redução de 60 kW por hora no consumo de energia elétrica, isso representa uma redução de aproximadamente 3,5%. E com base nesta informação associada aos dados de temperatura de bulbo úmido fornecidos pelo Software *Ashrae Weather Data Viewer* é possível mensurar a economia de energia elétrica ao longo dos meses, trimestres e até a redução anual.

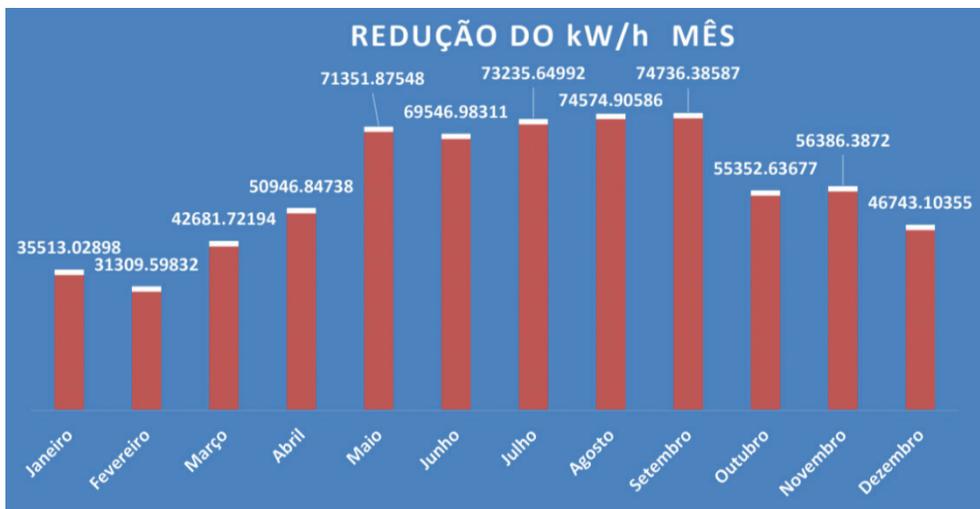


Gráfico 1 – Redução do Consumo de Energia Elétrica por Mês.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

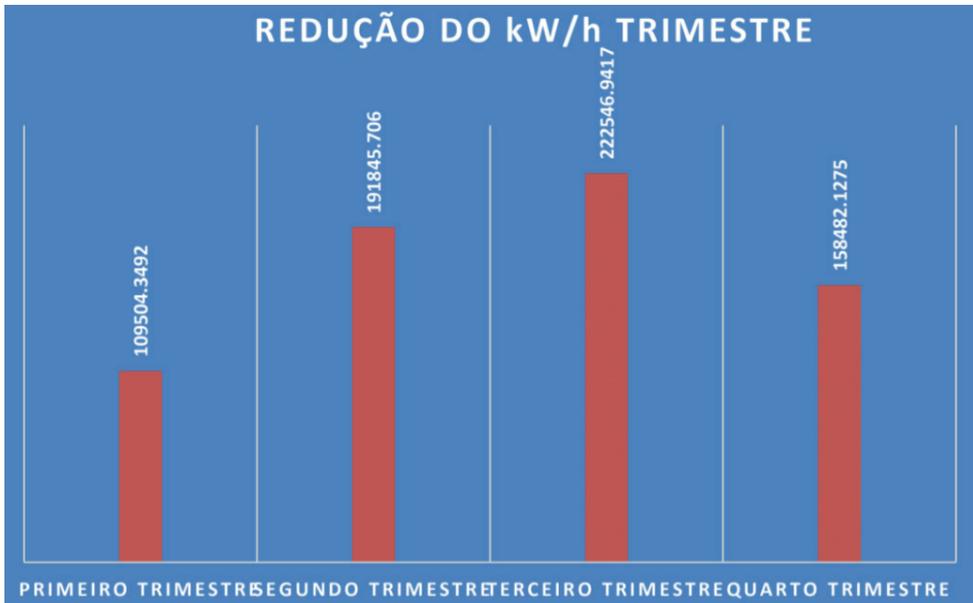


Gráfico 2 – Redução do Consumo de Energia Elétrica por Trimestre.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Com base nas simulações realizadas, haverá uma economia de aproximadamente 682.379,12 kW por ano no consumo de energia elétrica dos chillers. O valor atualmente pago no kWh por esta indústria é de R\$ 0,50, sendo assim o valor economizado por ano com a implantação deste projeto de automação é de R\$ 491.189,56 por ano. Levando em consideração que o custo da obra é de R\$ 732.000,00, o investimento se pagará em apenas 17,9 meses, arredondando dará 1 ano e meio para pagar o investimento apenas com a economia que será gerada com a redução no consumo de energia elétrica.

## CONCLUSÃO

Com base nos estudos e análises desenvolvidos podemos concluir que a opção de elaborar e executar um projeto para monitoramento constante da temperatura de bulbo úmido do ar externo e assim modular o Set Point das Torres de Arrefecimento é viável tanto nos quesitos técnicos quanto nos quesitos econômicos.

Conforme demonstrado anteriormente o custo para adequar o sistema existente a essa nova automação é de aproximadamente R\$ 732.000,00. A redução do consumo de energia será de aproximadamente 682.379,12 kW por ano. Indústria que serviu de base para todo este estudo paga atualmente R\$ 0,5 no kWh, sendo assim a redução será de R\$ 791.189,56 por ano, ou seja, o investimento se paga em apenas 1 ano e meio (18 meses).

## REFERÊNCIAS

MANFREDINI, C., & SILVA, R. A. *Sistemas de refrigeração industrial: conceitos e aplicações do sistema de expansão indireta*. Revista: Engenharia Industrial Volume: 15 Número: 2 Páginas: 45-58 Ano: 2020

SANTOS, J. R., & SILVA, A. B. *Tecnologia de resfriamento por água para compressores de alta eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial* Revista: Energia e Sustentabilidade Volume: 8 Número: 3 Páginas: 112-125 Ano: 2019

GARCÍA-HERNANDO, N., DÍAZ, M., PALOMO, A., GONZÁLEZ-CAMARGO, L., & FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S. *Effect of Wet Bulb Temperature on Cooling Tower Performance in Climatic Conditions of Western Spain*. Revista: Energies Volume: 13 Número: 16 Páginas: 4235 Ano: 2020

Bureau of Energy Efficiency (BEE). Chapter 7: Cooling Tower. Acessado: <https://www.beeindia.gov.in/sites/default/files/3Ch7.pdf>. Ano: 2024

KIM, Y.-J.; HA, J.-W.; PARK, K.-S.; SONG, Y.-H. A Study on the Energy Reduction Measures of Data Centers through Chilled Water Temperature Control and Water-Side Economizer. *Energies* 2021, 14, 3575.

EVANS, PAUL. Improve Chiller Efficiency. Disponível em: <<https://theengineeringmindset.com/improve-chiller-efficiency/>>. Acessado: 29/02/2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Briefing note b potential to improve the energy efficiency of refrigeration air-conditioning and heat pumps. Disponível em: [https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/briefingnote-b\\_potential-to-improve-the-energy-efficiency-of-refrigeration-air-conditioning-and-heat-pumps.pdf](https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-08/briefingnote-b_potential-to-improve-the-energy-efficiency-of-refrigeration-air-conditioning-and-heat-pumps.pdf). Acessado: 29/02/2024