



## AUTO IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E REFRIGERAÇÃO

### SELF-IRRIGATION IN CLIMATE AND COOLING SYSTEMS

Leonardo Lopes de Oliveira<sup>1</sup>

Marco Aurélio Pereira Lemes<sup>2</sup>

Wellington Silva Biserra<sup>3</sup>

Sérgio Luiz da Conceição Matos<sup>4</sup>

#### RESUMO

O objetivo deste artigo é demonstrar cientificamente, a partir do diagrama de Mollier, a vantagem energética de usar água condensada no evaporador para auxiliar o resfriamento do fluido através da irrigação do condensador, e também para mostrar como o projeto proposto neste artigo será na prática, reutilizando a água de modo consciente e eficaz melhorando a condição de funcionamento dos equipamentos e economizando energia, bem como obtendo menos esforço de trabalho do compressor e potencializando a troca de calor. Na maioria dos sistemas frigoríficos, a água condensada no evaporador é desperdiçada, considerando o grande potencial dos grandes sistemas, observando-se que é possível reutilizar a água e aumentar a eficiência energética dos equipamentos.

**Palavras-Chave:** Mollier. Resfriamento. Irrigação. Eficiência energética.

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to scientifically demonstrate, through the Mollier diagram, the energy advantage of using condensate water in the evaporator to aid cooling of the fluid through condenser irrigation and also to show how the project proposed in this article will be in practice by reusing the water from the condenser in a conscious and effective way improving the operating condition of the equipment and saving energy, as well as obtaining less work effort of the compressor and enhancing the heat exchange. In most refrigeration systems, condensate water in the evaporator is wasted, given the great potential of large systems, it has been noticed that is possible to reuse water and increase equipment energy efficiency.

**Keywords:** Mollier. Cooling. Irrigation. Energy efficiency.

---

<sup>1</sup> Aluno da Faculdade Senai de Tecnologia de Santos. E-mail: leonardo.oliveira@grupocesari.com.br

<sup>2</sup> Aluno da Faculdade Senai de Tecnologia de Santos. E-mail: marco\_lemes2@hotmail.com

<sup>3</sup> Aluno da Faculdade Senai de Tecnologia de Santos. E-mail: wellingtonbiserrasilva@gmail.com

<sup>4</sup> Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos. E-mail corporativo: sergio.lmatos@sp.senai.br

## 1 INTRODUÇÃO



**2º SIMPÓSIO DE  
INFORMAÇÃO E  
CONHECIMENTO**

FACULDADES DE TECNOLOGIA SENAI-SP

**SENAI**  
SÃO PAULO

O objetivo desse artigo é demonstrar cientificamente, por meio do diagrama de Mollier, a vantagem energética em usar a água condensada no evaporador para auxiliar o resfriamento do fluido por meio da irrigação do condensador, bem como também mostrar como o projeto proposto neste artigo será na prática.

Os aparelhos de ar condicionado geram, em média, 20 litros de água por dia, condensada na serpentina do evaporador durante seu funcionamento.

Esse estudo foi feito com propósito de solucionar o problema de funcionamento de condicionadores de ar, em que se tem temperaturas altíssimas no meio ambiente externo, que prejudicam o desempenho destas máquinas, reaproveitando a água dos seus drenos para melhora da sua eficiência, obtendo-se economia energética e utilizando-se a água desperdiçada para melhoria do desempenho dos equipamentos.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Durante o verão do ano de 2019, mais exatamente entre os dias 6 e 9 de janeiro em consulta ao Engenheiro Químico Luciano Gomes Souza – Diretor da Defesa Civil de Praia Grande o mesmo informou que a sensação térmica estava entre 60 °C a 70°C na região metropolitana da baixada santista.

A temperatura muito elevada prejudicou diretamente o funcionamento dos aparelhos de condicionamento de ar que dependem da temperatura do meio ambiente para funcionar.

Muitos condicionadores de ar têm o sistema de resfriamento do fluido por convecção forçada, este sistema força a passagem do ar pelas aletas da serpentina do condensador fazendo com que o ambiente troque calor com a serpentina e causando a queda de temperatura do fluido refrigerante.

Para que esse processo funcione com eficiência, existe a necessidade de que o ambiente em que o condensador está instalado, e que será usado como fonte de resfriamento para rejeitar o calor do ambiente ao qual se deseja climatizar, esteja em uma temperatura inferior à temperatura do fluido a ser condensado.

Torna-se, como exemplo, o equipamento usado no experimento:

Em uma temperatura de ambiente de 26,5°C o equipamento estabilizou a condensação do fluido refrigerante em uma pressão de 295 psig diretamente proporcional a temperatura ambiente de 55°C.

Nesse caso, pode-se dizer que há uma diferença de 28,5°C de temperatura entre o fluido refrigerante e o ambiente, sendo assim, nessas condições, o equipamento funciona adequadamente.

Usando o sistema de monitoramento do servidor do setor de Tecnologia da Informação da empresa, foi possível observar a diferença entre antes e depois do procedimento de irrigação dos condensadores.

Nas Figuras 1 e 2 é possível observar que em e-mail nos dias 6 a 8 de janeiro as temperaturas do Centro de Processamento de Dados chegaram a 30°C, acionando o alarme. Após implementação do sistema de irrigação do dia 9 de janeiro em diante, só houve alertas



na madrugada referentes à umidade relativa. A temperatura foi estabilizada em aproximadamente 20°C, o que não ocasionou mais alertas de aquecimento.

**Figura 1 - Resfriamento apenas por convecção situação de funcionamento normal**

DATE	TIME	Device_NAME	Device_IP
07.01.2019	17:24:08	SENSOR CPD	<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>
215	Temperatura	30.1 °C	10.0 ~ 30.0
216	Umidade	54.9 %RH	30.0 ~ 70.0
ALARM STAI			
TI_CESARI			
-----			
SENSOR CPD		<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>	00:0A:59:01:EC:62
-----			
DATE	TIME	Device_NAME	Device_IP
07.01.2019	17:25:19	SENSOR CPD	<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>
215	Temperatura	29.8 °C	10.0 ~ 30.0
216	Umidade	54.6 %RH	30.0 ~ 70.0
ALARM END			
TI_CESARI			
-----			
SENSOR CPD		<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>	00:0A:59:01:EC:62
-----			

Fonte: Equipe TI CESLOG (2019)

**Figura 2 - Resfriado por convecção e irrigação proposta de melhoria**

DATE	TIME	Device_NAME	Device_IP
09.01.2019	01:30:22	SENSOR CPD	<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>
215	Temperatura	20.8 °C	10.0 ~ 30.0
216	Umidade	70.1 %RH	30.0 ~ 70.0
ALARM START			
TI_CESARI			
-----			
SENSOR CPD		<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>	00:0A:59:01:EC:62
-----			
DATE	TIME	Device_NAME	Device_IP
11.01.2019	01:23:26	SENSOR CPD	<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>
215	Temperatura	20.3 °C	10.0 ~ 30.0
216	Umidade	69.9 %RH	30.0 ~ 70.0
ALARM END			
TI_CESARI			
-----			
SENSOR CPD		<a href="http://172.31.1.201">http://172.31.1.201</a>	00:0A:59:01:EC:62
-----			

Fonte: Equipe TI CESLOG (2019)



### 3 MATERIAS E MÉTODOS

Foi utilizado um borrifador simples, acionado por um temporizador com duração de um minuto, que teve a capacidade de borrifar aproximadamente 540ml de água no condensador, sendo o suficiente para estabilizar a condição de melhora no resfriamento do fluido pelo tempo em que o equipamento ficou em funcionamento. A temperatura ambiente e da água eram iguais a 26,5°C, sendo utilizados os seguintes equipamentos no experimento:

**Quadro 1- Dados dos equipamentos utilizados no experimento**

<b>Equipamentos Usados no experimento</b>	
<b>Condicionador de ar</b>	
Marca:	Samsung
Capacidade:	24.000BTU
Modelo do Condensador:	AS24UWBUXXA
Modelo do Evaporadora:	AS24UWBUNXAZ
Fluído Refrigerante:	R22
Corrente:	11,5A
Potência:	2318W
Modelo compressor:	UR5A240IUBEM
Marca do compressor:	Samsung
<b>Termômetro</b>	
Marca:	Full Gauge
Modelo:	Penta
<b>Manômetro</b>	
Marca:	Rothenberger

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

### 4 O EXPERIMENTO

A tabela 1 a seguir apresenta dados do sistema de resfriamento sem a auto-irrigação nos pontos de medição do termômetro penta.



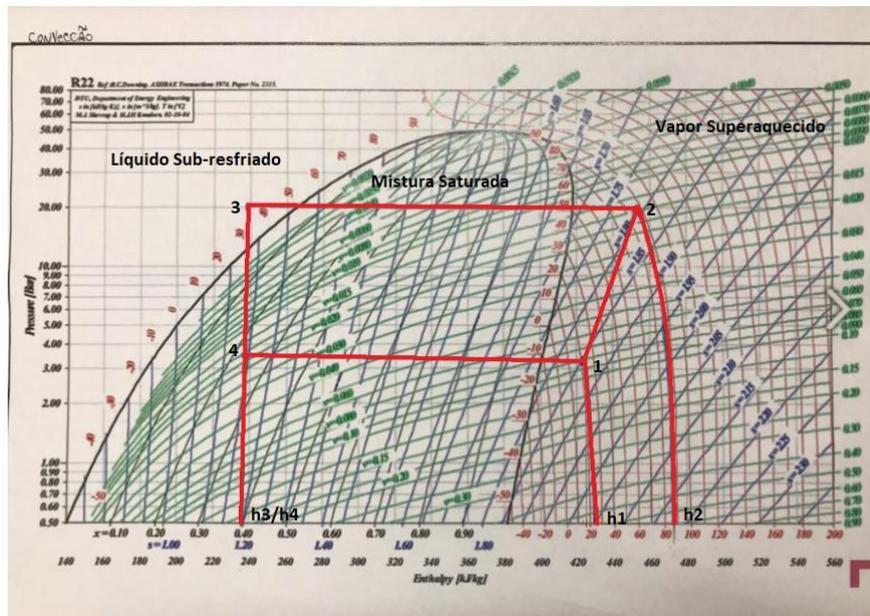
**Tabela 1 - Dado sem auto irrigação do sistema de resfriamento nos pontos de medição do termômetro penta**

<b>Dados sem auto-irrigação pontos de medição do termômetro penta</b>	
1) Saída do evaporador	22°C
2) Entrada do Condensador	89°C
3) Saída do Condensador	31,1°C
4) Entrada do Evaporador	5,7°C
Temperatura de Insuflação	20,3°C
<b>Dados manométricos baixa pressão</b>	
Temperatura de Evaporação	- 4°C
Pressão de Evaporação	50 PSI
<b>Dados manométricos alta pressão</b>	
Temperatura de Condensação	55°C
Pressão de Condensação	295 PSI

Fonte: Elaborado pelos autores, (2019)

O gráfico acima apresenta as informações de tendências do sistema sem o recurso de auto irrigação.

**Gráfico 1 - Tendência do sistema por convecção sem auto irrigação**



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

#### 4.1 Resfriado apenas por convecção situação de funcionamento normal

Os cálculos a seguir demonstram o coeficiente de desempenho do sistema resfriado apenas por convecção:

(1)

$$\begin{aligned}
 Q_{evap} &= mx (h_1 - h_4) \\
 7,0337057 \text{ kJ/s} &= mx (439 \text{ kJ/kg} - 240 \text{ kJ/kg}) \\
 m &= 7,033 \text{ kJ/s} / 199 \text{ kJ/kg} \\
 m &= 0,035 \text{ kg/s} \\
 W_{comp} &= mx (h_2 - h_1) \\
 W_{comp} &= 0,035 \text{ kg/s} (489,25 \text{ kJ/kg} - 439 \text{ kJ/kg}) \\
 W_{comp} &= 0,035 \text{ kg/s} 50,25 \text{ kJ/kg} \\
 W_{comp} &= 1,758 \text{ kJ/s} \\
 Q_{cond} &= mx (h_2 - h_3) \\
 Q_{cond} &= 0,035 \text{ kg/s} (489,25 \text{ kJ/kg} - 240 \text{ kJ/kg}) \\
 Q_{cond} &= 0,035 \text{ kg/s} 249,25 \text{ kJ/kg} \\
 Q_{cond} &= 8,723 \text{ kJ/s} \\
 \text{Expansão} \\
 H_3 &= H_4 \\
 240 \text{ kJ/kg} &= 240 \text{ kJ/kg} \\
 240 \\
 C_{op} &= Q_{ev} / W_c \\
 C_{op} &= 7,033 \text{ kJ/s} / 1,758 \text{ kJ/s} \\
 C_{op} &= 4
 \end{aligned}$$



Legenda:

- m: Vazão mássica de fluido refrigerante em kg/s
- Qevap: Calor retirado pelo evaporador kj/s
- Qcond: Calor cedido pelo condensador kj/s
- Wcomp: Trabalho realizado pelo compressor hj/s
- Cop: Coeficiente de desempenho do sistema

A tabela 2 a seguir apresenta dados do sistema de refrigeração com auto-irrigação nos pontos de medição do termômetro penta.

**Tabela 2 - Dados com auto irrigação pontos de medição do termômetro penta**

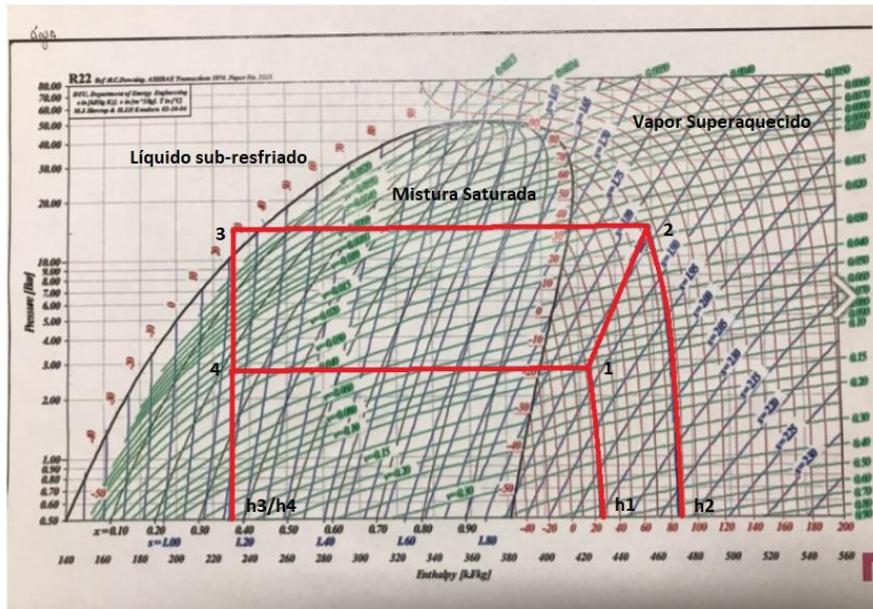
<b>Dados com auto irrigação pontos de medição do termômetro penta</b>	
Temperatura da água	26,5°C
1) Saída do evaporador	22°C
2) Entrada do Condensador	85,5°C
3) Saída do Condensador	26.7°C
4) Entrada do Evaporador	- 0,5°C
Temperatura de Insuflação	20,3°C
<b>Dados manométricos baixa pressão</b>	
Temperatura de Evaporação	- 10°C
Pressão de Evaporação	40 PSI
<b>Dados Manométricos Alta pressão</b>	
Temperatura de Condensação	42°C
Pressão de Condensação	220 PSI

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

O gráfico a seguir apresenta as informações de tendências do sistema com recurso de auto-irrigação.



Gráfico 2 – Tendência do sistema com auto irrigação



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

#### 4.2 Resfriado por convecção e irrigação proposta de melhoria

Os cálculos a seguir demonstram o coeficiente de desempenho do sistema resfriado por irrigação e convecção.

(2)

$$\begin{aligned}
 Q_{evap} &= m \times (h_1 - h_4) \\
 7,0337057 \text{ kJ/s} &= m \times (442,525 \text{ kJ/kg} - 230 \text{ kJ/kg}) \\
 m &= 7,033 \text{ kJ/s} / 212,525 \text{ kJ/kg} \\
 m &= 0,033 \text{ kg/s} \\
 W_{comp} &= m \times (h_2 - h_1) \\
 W_{comp} &= 0,033 \text{ kg/s} \times (486 \text{ kJ/kg} - 442,525 \text{ kJ/kg}) \\
 W_{comp} &= 0,033 \text{ kg/s} \times 43,475 \text{ kJ/kg} \\
 W_{comp} &= 1,43 \text{ kJ/s} \\
 Q_{cond} &= m \times (h_2 - h_3) \\
 Q_{cond} &= 0,033 \text{ kg/s} \times (486 \text{ kJ/kg} - 230 \text{ kJ/kg}) \\
 Q_{cond} &= 0,033 \text{ kg/s} \times 256 \text{ kJ/kg} \\
 Q_{cond} &= 8,448 \text{ kJ/s} \\
 \text{Expansão} \\
 H_3 &= H_4 \\
 235 \text{ kJ/kg} &= 235 \text{ kJ/kg} \\
 230 \text{ kJ/kg} \\
 C_{op} &= Q_{evap} / W_c \\
 C_{op} &= 7,033 \text{ kJ/s} / 1,43 \text{ kJ/s} \\
 C_{op} &= 4,918
 \end{aligned}$$

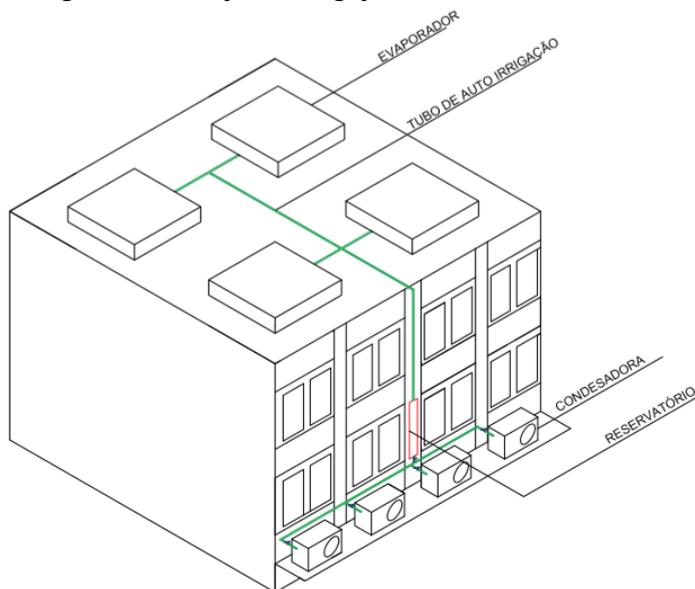


Legenda:

- m: Vazão mássica de fluido refrigerante em kg/s
- Qevap: Calor retirado pelo evaporador kj/s
- Qcond: Calor cedido pelo condensador kj/s
- Wcomp: Trabalho realizado pelo compressor hj/s
- Cop: Coeficiente de desempenho do sistema

A figura a seguir ilustra o sistema proposto para irrigação das unidades condensadoras do sistema de resfriamento.

**Figura 3 - Ilustração de irrigação das condensadoras**



Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Conforme ilustrado na figura 3, o processo de auto irrigação das condensadoras irá funcionar com a água condensada no evaporador. Quando condensada, a água vai seguir por uma tubulação e será armazenada em um tubulão reservatório. A irrigação vai acontecer quando a descarga do compressor estiver a uma temperatura de 60°C, o que acionará uma chave de temperatura que indica que a máquina está ligada. A partir dessa temperatura o termostato instalado na descarga do compressor vai fechar um contato que acionará o solenoide instalado na tubulação da máquina, liberando a água para iniciar a irrigação na parte superior da serpentina, assim a água escorrerá pela maior área possível.

Cada máquina terá uma válvula solenoide, para que sejam irrigadas apenas as máquinas que estão ligadas, evitando desperdício. Em caso de falha no solenoide ou no termostato, foi instalado, por segurança, um dreno na parte superior do tubulão de armazenamento, evitando que a água retorne para a evaporadora. É importante a isolamento térmica do tubulão de armazenamento, para que se mantenha a água condensada do evaporador fria por mais tempo, garantindo a eficiência do resfriamento.



## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Por meio da teoria de Mollier, foi demonstrado que o procedimento de auto-irrigação dos condicionadores de ar proporcionou a melhora do coeficiente de desempenho dos equipamentos, economizando energia com menor esforço para realizar o seu trabalho. É evidente, também, o benefício ao meio ambiente observado ao se reutilizar água que seria descartada, impedindo o uso de água potável nesse procedimento. Ressalta-se também, que a água reutilizada não é tratada, evitando assim a corrosão do equipamento, pois a água potável tratada tem a presença de Cálcio, Magnésio e Cloro que seriam fatores determinantes para acelerar o processo de corrosão dos equipamentos.

Embora a água estivesse na mesma temperatura que o ar, isso só foi possível porque a condutividade térmica da água está em torno de 0,61 e a do ar 0,024 uma vez que a água tem uma capacidade muito maior de absorção de calor.

Pelos dados obtidos, foi possível determinar os seguintes pontos importantes:

1º A linha do ponto 1, mostrado no gráfico 2, do sistema com auto-irrigação deverá estar mais longe do ponto final de saturação do que o ponto 1 apenas por convecção, uma vez que o fluido refrigerante estará em um estado mais confiável, de completo vapor, melhorando a confiabilidade do sistema prevenindo que o fluido adentra no estado líquido na câmara de compressão.

## 6 CONCLUSÃO

Houve um aumento no Cop do sistema de 0,918, o que representa um percentual de 22%.

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), [2019?], os sistemas de climatização são responsáveis por 30 a 40% do consumo da energia elétrica em edifícios administrativos industriais.

Como continuidade a esta pesquisa, será feita uma relação entre a melhora do Cop do condicionador de ar com auto irrigação e o consumo direto de energia.

Para o sistema proposto estima-se a reutilização de até 480 litros de água mensalmente para cada ar condicionado, sendo que, normalmente essa água não seria utilizada o que caracteriza uma relevante economia e eficiente reutilização de um recurso cada vez mais escasso.

Tenciona-se, em estados futuros, a utilização de medidores de consumo de energia integrado a automação com programador lógico programáveis e sistemas de aquisição de dados, com a finalidade de medição sobre a demanda de consumo referente a energia diária, semanal e mensal.

Através desses dados pode-se melhorar a eficiência do processo de auto irrigação.



## REFERÊNCIAS

- ABRAVA. **O uso do ar-condicionado e o consumo de energia elétrica**. São Paulo: [ABRAVA]. Disponível em: <https://abrava.com.br/o-uso-do-ar-condicionado-e-o-consumo-de-energia-eletricaabrava/>. Acesso em: 09 set. 2019.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING (org.). **Ashrae handbook: refrigeration**. Atlanta: Ashrae, v.42, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING (org.). **Ashrae handbook: fundamentals**. Atlanta: Ashrae, v.43, 1997.
- COSTA, Ennio Cruz da. **Refrigeração**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 1982. 322 p.
- DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração**. Houston: John Wiley & Sons, 2001.
- EQUIPE TI CESLOG: Grupo Cesari [Cubatão-SP]: [s.n.], 2019.
- MACHI, Luiz Alberto Veras. **Notas obtidas por meio de entrevista com o biólogo e gestor do Parque Raiz da Serra: grupo Cesari**. [Entrevista cedida aos autores deste artigo]. [Cubatão-SP]: [s.n.], 2019.
- SILVA, Jesué Graciliano da. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. São Paulo: Artliber, 2003. 219 p.
- SOUZA, Luciano Gomes. **Defesa civil de Praia Grande**. [Entrevista e ou consulta, cedida aos autores deste artigo]. Praia Grande-SP: [s.n.], 2019.
- STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeção e ar condicionado**. São Paulo: Mcgraw-hill, 1982. 481 p.
- USP (Org.). **Condutividade térmica**. São Paulo: USP, 2019. Disponível em: <http://fep.if.usp.br/~profis/experimentando/diurno/downloads/Tabela%20de%20Condutividade%20Termica%20de%20Varias%20Substancias.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019

## AGRADECIMENTOS

Prof. Sérgio Luiz da Conceição Matos, Prof. Roberto Blanco Lorenzo, Prof. Shimabukuro, Prof. Fabrício Ramos da Fonseca, Engº Luciano Gomes Souza, Sr. Luiz Alberto Veras Machi, Prof. Cristiane Mileo Batistela Gouvea, Prof. Maurício Andrade Nunes, Prof. Mirena Costa de Jesus, Grupo Cesari.



**2º SIMPÓSIO DE  
INFORMAÇÃO E  
CONHECIMENTO**

FACULDADES DE TECNOLOGIA SENAI-SP

**SENAI**  
SÃO PAULO

## Sobre os autores

### **<sup>1</sup>LEONARDO LOPES DE OLIVEIRA**



Graduando em Tecnologia da Automação Industrial pela Faculdade SENAI (2017 – 2020). Tem experiência na área de Refrigeração, com ênfase em manutenção, instalação, projetos e controle de manutenção. É Encarregado de refrigeração na empresa CESARI, responsável pelo funcionamento dos equipamentos de refrigeração e climatização da empresa.

### **<sup>2</sup>MARCO AURÉLIO PEREIRA LEMES**



Possui graduação em Automação Industrial pela Faculdade SENAI (2017). Tem experiência na área de Refrigeração, com ênfase em manutenção e instalação. É Mecânico de refrigeração na empresa CESARI responsável pelo funcionamento dos equipamentos de refrigeração e climatização da empresa.

### **<sup>3</sup>WELLINGTON SILVA BISERRA**



Graduando em Tecnologia da Automação Industrial pela Faculdade SENAI (2017 – 2020). Tem experiência na área da Elétrica, com ênfase em Projetos elétricos, manutenção e instalação. É eletricista de manutenção na empresa CESARI responsável pelo funcionamento dos serviços elétricos.

### **<sup>4</sup>SÉRGIO LUIZ DA CONCEIÇÃO MATOS**



Possui graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica pela Faculdade Univap São José dos Campos (1996 - 2002), e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2016 – 2017). Atualmente é professor da Faculdade Senai de Tecnologia da Automação Industrial e Educação Profissional, lecionando as disciplinas no curso Tecnológico de Automação e na Pós-graduação. Tem experiência na área de Engenharia de Manutenção.