

## SISTEMA DE CAPTAÇÃO E APROVEITAMENTO DE ÁGUA GERADA PELOS APARELHOS CONDICIONADORES DE AR.

### SYSTEM FOR CAPTURE AND USE OF WATER GENERATED BY AIR CONDITIONING APPLIANCES.

ALEXANDRE AUGUSTO FENELON FILHO, Rogério Rodrigues dos Santos, Lauriane Santin

<sup>1</sup>Academica de Engenharia /FACEG Email: rogerio-rsantoshotmail.com

<sup>2</sup>Academica de Engenharia /FACEG <sup>3</sup>Orientador(a) e Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG Email: rogerio-rsantoshotmail.com

**Resumo:** A água é um recurso de vital importância, sendo imprescindível para a sobrevivência dos seres vivos. Devido à escassez desse recurso que já é problema em algumas regiões, práticas sustentáveis para o uso racional e reutilização da água vêm sendo executadas nos últimos anos. O objetivo desse trabalho é realizar um estudo sobre a água condensada gerada pelos condicionadores de ar e realizar propostas para captação e reutilização da mesma, de uma maneira sustentável e racional. Para isso, o trabalho teve como método um estudo de caso, realizando cálculos estimativos da vazão mássica de água condensada gerada por um aparelho da marca Komeco com capacidade de 9.000 Btu/h, em diferentes dias e horários. De acordo com os resultados é viável propor um sistema de captação da água, devido à grande quantidade de água condensada produzida pelos aparelhos condicionadores de ar, torna-se um projeto praticável tanto para escolas, faculdades, condomínios, edifícios comerciais, residenciais. Com a canalização dessa água é possível realizar o reaproveitamento de diversas maneiras, como: irrigação de jardins, lavagem de calçadas, janelas, carros.

**Palavras-chave:** Água condensada. Condicionadores de ar. Reaproveitamento

**Abstract:** Water is a vitally important resource, being essential for the areas of living beings. Due to the scarcity of this resource, which is already a problem in some regions, sustainable practices for the rational use and reuse of water supply have been implemented in recent years. The objective of this work is to carry out a study on the condensed water generated by the air conditioners and to make proposals for capturing and reusing it, in a sustainable and rational way. For that, the work had as a method a case study, making estimations calculations of the mass flow of condensed water generated by a Komeco device with a capacity of 9,000 Btu / h, in different days and times. According to the results, it is feasible to propose a water intake system, due to the large amount of condensed water existing by air conditioning devices, it becomes a feasible project for schools, colleges, condominiums, commercial and residential buildings. With the channeling of this water it is possible to carry out the reuse in several ways, such as: irrigating gardens, washing sidewalks, windows, cars.

**Keywords:** Condensed water. Air conditioners. Reuse

## INTRODUÇÃO

A água é de suma importância para todos os ecossistemas, é imprescindível para a vida tanto dos humanos quanto dos animais e plantas, porque sem ela não haveriam condições de vida. No entanto, devido ao uso massivo, à falta de tratamento adequado dos rejeitos de água para reuso e a falta de águas pluviais em várias regiões brasileiras, esse recurso está se tornando cada vez mais escasso (RIGOTTI, 2014).

A água está presente no nosso cotidiano. Ela está presente tanto na terra quanto no ar, muito utilizada na agricultura, nas indústrias, nas casas e nos edifícios e até mesmo no nosso próprio corpo. A vida flui através dela, então os seres vivos estão intrinsecamente relacionados à utilização água (PORTO-GONÇALVES, 2004).

Diversas questões estão relacionadas à preservação da água, entre elas está o aumento progressivo do fornecimento de água, devido ao aumento da demanda nos centros urbanos. Segundo Barros (2005)

a água é vital para a nossa sobrevivência, mas isso só foi constatado quando o recurso veio a ficar escasso em regiões em que normalmente nunca haviam sentido a falta desse recurso.

Por essas razões existe a necessidade imediata do uso racional da água e de estudos para seu reaproveitamento. Nos últimos anos essa demanda vem crescendo significativamente, empresas e até mesmo pessoas que têm a preocupação com o meio ambiente tem procurado alternativas de reaproveitar a água.

Com a implementação de recursos para a reutilização da água será proporcionada uma redução relativa em seu consumo da água. Considerando que os aparelhos de condicionadores de ar geram uma quantidade relativa de água condensada que pode ser utilizada tanto para atividades de limpeza de calçadas, pisos, janelas, carros e para irrigação.

Desse modo, levando em consideração que existe um desperdício percentual de água, propõe que a canalização da água condensada dos condicionadores de

ar esteja disponível quanto para o uso em escolas, faculdades, hospitais, prédios comerciais e residências entre outros.

## FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Diversas maneiras de reciclar a água estão surgindo, impulsionadas pela constante preocupação com o meio ambiente. Segundo Rigotti (2014) um climatizador do tipo Hi Wall de 12.000 Btu/h e vazão de 600 m<sup>3</sup>/h produz 1 litro para cada hora da máquina ligada. Levando em conta esses dados com um expediente de 8 horas por dia em um edifício comercial com 10 aparelhos pode-se dizer que em um dia ocorre o desperdício de 80 litros de água. A vista disso, surge a questão: um sistema para captação de água realmente é um meio eficaz e econômico?

Em 1834, foi patenteada a primeira máquina de refrigeração de origem inglesa. Com um sistema de funcionamento semelhante ao das atuais máquinas de refrigeração mecânica. Já na etapa final do século XIX os equipamentos de refrigeração mecânica usados eram ineficientes, por ter grandes despesas e por requererem a assistência de um engenheiro para sua operação, ficando limitada a sua aplicação a indústrias de grande porte. Com a popularização da energia elétrica nas residências e o desenvolvimento dos motores elétricos a partir do ano de 1900, a refrigeração se tornou cada vez mais popular em todo o mundo (GONÇALVES, 2005).

A área de refrigeração cresceu de tal maneira no último século que acabou por ocupar os mais diversos campos. Os campos de refrigeração e ar-condicionado estão relacionados, embora cada um tenha uma área específica de atuação. Em termos de uso, os condicionadores de ar podem ser divididos em duas categorias: conforto e industriais (RODRIGUES, 2010).

Em 1902, segundo Antonovicz e Weber (2013) o engenheiro norte – americano Willys Carrier criou um processo mecânico para condicionar o ar, utilizados para controle de temperatura de ambientes. A ideia surgiu para resolver o problema de uma empresa de Nova York que devido ao clima quente na região juntamente com o ar

úmido, fazia com que as impressões saíssem borradas e manchadas. Com isso surgiu o primeiro modelo de condicionador de ar, um equipamento que por meio dos dutos resfriava o ar de maneira artificial.

Com base nesse sistema desenvolvido, diversas empresas de variados campos adotaram esse esquema de circulação por dutos resfriados artificialmente. A invenção demorou a se popularizar, somente no ano de 1914, Carrier desenvolveu um dispositivo para o uso residencial, que diferente dos aparelhos de ar-condicionado que conhecemos hoje em dia, eram maiores e mais simples. Neste mesmo ano ele também desenhou o primeiro condicionador de ar hospitalar com o objetivo de aumentar a umidade do ar (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

A partir da década de 1920, os aparelhos de ar-condicionado foram se popularizando nos Estados Unidos, e começaram a ser instalados em locais públicos. O que foi de grande importância para a indústria cinematográfica, pois devida a alta temperatura das salas elas sempre ficavam vazias. Na década seguinte, Carrier desenvolveu um sistema de condicionadores de ar para edifícios arranha céu que contava com distribuição em alta velocidades através dos dutos e ocupava menos espaço em relação aos sistemas daquela época (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

Já em meados de 1950, o crescimento desse setor levou os aparelhos de condicionadores de ar residenciais a sua primeira produção em massa. Com resultado bem positivo, encerrando os estoques em apenas duas semanas. A partir da década de 1960, os aparelhos de ar-condicionado já eram conhecidos e como consequência, iniciou-se um mercado de extensão mundial, que até os dias de hoje vem se desenvolvendo tecnologicamente (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi utilizada a metodologia de Estudo de Caso. A escolha se deve ao fato deste método de estudo ser aplicado a um contexto atual, possibilitando amplo e detalhado

conhecimento sobre o fenômeno, sendo capaz, inclusive, de gerar teoria (MIGUEL, 2007). É, na verdade, uma espécie de histórico do fenômeno, extraído de múltiplas fontes e evidências onde qualquer fato relevante à corrente de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial para o estudo de caso, pois o contexto é importante (LEONARD-BARTON et al., 1990).

Esta pesquisa consiste em um estudo realizado por meios de cálculos para estimar a quantidade de água condensada produzida pelos aparelhos condicionadores de ar.

Para a realizar a coleta dos dados e realizar os cálculos foi utilizado um termo-higrômetro que mede a umidade (U) e temperatura (T) da sala, dois termômetros para medir as temperaturas de entrada e saída da evaporadora e a vazão do aparelho condicionador de ar de acordo com o fabricante.

Para esta análise, foi utilizado o software de termodinâmica Computer Aided Thermodynamic Tables 3, com o objetivo de gerar um gráfico da carta psicrométrica do ar para comprovar que ocorre a condensação da água e especificar a quantidade de água condensada pelo aparelho de ar-condicionado da marca Komeco com capacidade de 9.000 Btu/h e vazão de 520 m<sup>3</sup>/h.

Foram propostas alternativas de reutilização da água condensada em aparelhos de ar-condicionado a fim de evitar o desperdício e gerar uma utilização sustentável desse recurso.

Para realizar as medições e estimar a vazão de água condensada os testes foram realizados em um quarto de 11,45 m<sup>2</sup> com janela exposta para o sol posicionada ao sul.



Figura 1 – Testes.

Fonte: O próprio autor.

### Análise dos dados

Para realização da análise, os instrumentos (ou sensores) foram montados no aparelho condicionador de ar para obter os dados. Com finalidade de validar essa análise, foram utilizadas ferramentas como a carta psicrométrica e o programa de termodinâmica Computer Aided Thermodynamic Tables 3. As medidas foram realizadas em três dias distintos, em quatro horários diferentes para cada dia. Foi realizada a análise da temperatura de entrada da evaporadora (Sensor 01 – Figura 1), e sua umidade relativa na entrada da evaporadora (Termo Higrômetro – Figura 1), onde o valor está presente na carta psicrométrica. Sequencialmente foi realizada a análise da temperatura de saída da evaporadora (Sensor 02 – Figura 1), onde o valor está presente na carta psicrométrica.

Embora seja possível realizar a análise utilizando a carta psicrométrica, ela requer tempo e interpolações visuais, assim causando imprecisão nos dados. Portanto, limita a obtenção das propriedades nos pontos de estado do intervalo, já que apresenta uma escala fixa para as temperaturas (CASTRO; CHAVES, 2003).

Para obter essas propriedades, foi utilizado o software Computer Aided Thermodynamic Tables 3 para gerar o gráfico da carta psicrométrica do ar com variação de intervalos de temperatura, permitindo a obtenção dos valores exatos das propriedades psicrométricas do ar (Figura 2).

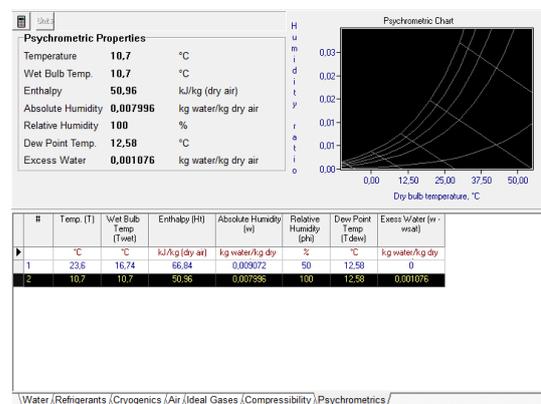


Figura 2 - Dados processados no Computer Aided Thermodynamic Tables 3.

Fonte: O próprio autor.

Com o software *Computer Aided Thermodynamic 3*, foi selecionada a opção de temperatura (T) e umidade relativa ( $\phi$ ). Foram então inseridos os valores de temperatura na entrada da unidade evaporadora (Sensor 1) e a umidade relativa coletada pelo termo-higrômetro. Selecionou-se, então, a opção de temperatura (T) e umidade absoluta (w) e foi inserido o valor de temperatura na saída da unidade evaporadora (Sensor 2). Depois disso, coletou-se o valor da taxa de condensação fornecido pelo software e foi identificada a vazão do aparelho condicionador de ar do tipo split Hi-Wall com capacidade de 9.000 Btu/h como sendo  $Q = 520 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Também se analisou a temperatura da saída da evaporadora (Sensor 2) em  $^{\circ}\text{C}$  e converteu-se para K (Kelvin). Em seguida, foi verificada a densidade ( $\rho$ ) do ar para a temperatura requerida de acordo com o Anexo A e realizaram-se as interpolações necessárias para se chegar nos valores aproximados.

Realizou-se, então, o cálculo da vazão mássica do ar ( $\dot{m}_{\text{ar}}$ ), conforme a Equação 1.

$$\dot{m}_{\text{ar}} = Q [\text{Vazão de Ar do Evaporador}] \cdot \rho [\text{Densidade Relativa do Ar}] \quad (1)$$

Com o valor da vazão mássica do ar calculado, procedeu-se com o cálculo da vazão mássica da água ( $\dot{m}_{\text{água}}$ ), conforme Equação 2 e tabulou-se os valores obtidos na Tabela 2.

$$\dot{m}_{\text{água}} = \dot{m}_{\text{ar}} \cdot (w - w_{\text{sat}}) \quad (2)$$

O erro relativo percentual foi calculado pela seguinte expressão:

$$ER = \frac{x_0 - x}{x} \cdot 100 \quad (3)$$

O erro relativo percentual foi calculado pela seguinte expressão:

onde,

$x_0 = \text{Valor calculado}$

$x = \text{Valor coletado}$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de temperatura ambiente da sala, temperatura de entrada na unidade evaporadora, umidade relativa da sala, temperatura de saída na unidade evaporadora, quantidade de água condensada produzida e a taxa de condensação, estão mencionados da Tabela 1. Estes valores foram coletados de acordo com os aparelhos citados previamente (termômetro e termo-higrômetro), onde os sensores foram posicionados no aparelho de ar-condicionado para realizar a coleta dos dados, à água condensada produzida foi coletada na pratica ou seja é o valor real produzido e a taxa de condensação foi encontrada através do software de termodinâmica.

Tabela 1 - Dados Analisados

Marca: Komeco Capacidade: 9.000 Btu/h Vazão: 520 m <sup>3</sup> /h							
Dias	Horário	Temp. Sala °C	Temp. Ent sensor 1 /°C	Umidade Ent %	Temp. Saída Sensor 2 °C	Água produzida (litro)	Taxa de cond. (kg de água / kg de ar seco)
Dia 1	14:00	23,2	24,6	52	10,9	0,65	0,001537
	15:00	22,8	23,6	50	10,7	0,65	0,001076
	16:00	22,6	24,0	51	10,7	0,65	0,001489
	17:00	22,9	24,1	49	10,3	0,65	0,001381
Dia 2	14:00	23,8	19,0	47	4,8	0,55	0,001081
	15:00	24,0	19,9	46	6,0	0,55	0,000840
	16:00	23,6	19,3	47	5,1	0,55	0,001089
	17:00	24,2	20,3	45	6,4	0,55	0,000695
Dia 3	14:00	24,0	19,5	46	5,9	0,55	0,000716
	15:00	23,7	20,1	47	6,3	0,55	0,000948
	16:00	24,2	19,9	46	6,1	0,55	0,000799
	17:00	23,9	20,4	47	6,0	0,55	0,001201

Fonte: O próprio autor.

Com os resultados obtidos da Tabela 1, foi realizado os cálculos mencionados na metodologia para encontrar os resultados da vazão mássica da água condensada produzida, sequencialmente com os resultados da vazão mássica da água e os valores reais da água produzida por litro foram realizados os cálculos para encontrar os valores do erro relativo. Onde esses valores estão mencionados na Tabela 2, que, são eles: Vazão mássica calculada encontrada através dos cálculos, coleta na pratica encontrada através do valor real produzido pelo aparelho de ar-condicionado e erro encontrado através dos cálculos do erro relativo.

Tabela 2 - Dados analisados por dia

Horário de coleta	Água condensada coletada								
	Dia 1		Dia 2			Dia 3			
Vazão mássica calculada	Coleta na prática (L)	Erro (%)	Vazão mássica calculada	Coleta na prática (L)	Erro	Vazão mássica calculada	Coleta na prática (L)	Erro (%)	
14:00	0,550	0,65	15,4	0,710	0,55	29,0	0,468	0,55	14,9
15:00	0,605	0,65	6,9	0,549	0,55	0,2	0,623	0,55	13,3
16:00	0,522	0,65	19,7	0,714	0,55	29,8	0,523	0,55	4,9
17:00	0,537	0,65	17,4	0,453	0,55	17,6	0,785	0,55	42,7
Soma	2,210	2,20		2,426	2,20		2,399	2,20	

Fonte: O próprio autor.

Estas diferenças entre os valores calculados e os valores coletados na prática podem ser justificadas devido a coleta com equipamentos de medição não tão eficazes.

### Proposta para um sistema de captação

De acordo com os resultados obtidos, é viável utilizar um meio para captação da água condensada dos aparelhos condicionadores de ar tanto para casas, hospitais, escolas, faculdades, hotéis e prédios, levando em consideração que o projeto apresenta um custo baixo e que a reutilização da água é uma prática sustentável.

Os aparelhos condicionadores de ar podem somar vários litros de água dependendo da quantidade de horas que ficam ligados durante o dia, de acordo com os resultados para um aparelho de 9,000 Btu/h é gerado 0,55 ml de água condensada por hora. Essa água gerada é inviável para o consumo por conter impurezas e, por essa razão, a sua utilização é útil para limpeza de pisos, janelas, carros, irrigação de plantas.

Vale ressaltar que tanto a unidade evaporadora, que fica na parte interna do ambiente, quanto a unidade condensadora na parte externa são responsáveis por mudar o estado do fluido refrigerante de gasoso para líquido, gerando água no ciclo de refrigeração e no ciclo de aquecimento.

A implementação desse projeto pode ser feita com tubos de PVC para canalizar toda a água. Sua aplicação em edifícios modernos é facilitada, uma vez que essas construções geralmente já possuem essas tubulações de PVC interligando os aparelhos condicionadores de ar, permitindo coletar a água condensada. Porém, essa água é descartada. Visando a economia e a sustentabilidade, é

viável redirecionar essa água a um reservatório, para que, sequencialmente, seja feita sua reutilização. Já em casas, a água pode ser armazenada em baldes.

Em uma grande empresa, em que varias salas utilizam aparelhos de ar-condicionado oito horas por dia, a produção de água desses equipamentos pode chegar a valores consideráveis. De acordo com os resultados, pode-se fazer uma estimativa da quantidade de água desperdiçada em um mês por uma grande empresa. Se, por exemplo, dez aparelhos de ar-condicionado de, 9000 Btu's, funcionam em determinada empresa, cinco dias por semana, tem-se uma quantidade de água condensada equivalente à quantidade de água gasta, em média, em 67 acionamentos de descargas convencionais, visto que um acionamento de 6 segundos gasta em torno de 12 litros de água (SABESP, 2021). Essa análise está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Volume de água drenada de ar-condicionado

Quantidade de aparelhos condicionadores de ar	Água de drenagem de Ar-Condicionado			
	Volume por hora	Volume em 8 horas (1 dia)	Volume em 1 semana (5 dias)	Volume em 1 mês (20 dias)
1	0,5 litros	4,0 litros	20,0 litros	80,0 litros
10	5,0 litros	40,0 litros	200,0 litros	800,0 litros

Fonte: Próspero (2015).

Estes resultados mostram que a iniciativa de captação da água condensada por aparelhos de ar-condicionado pode oferecer significativa economia desse recurso, promovendo uma alternativa sustentável caso esta água residual seja reutilizada.

O projeto também é viável para ser implementado em casas: levando em conta 2 aparelhos condicionadores de ar com capacidade de 9000 Btu's interligados funcionando quatro horas por dia, de acordo com os resultados obtidos, geram em média 4,4 litros de água condensada por dia. Assim, pode-se evitar o desperdício e reciclar a água a qual poderia, por exemplo, ser utilizada na irrigação de um jardim. Na Figura 3 é apresentada uma proposta de um projeto para canalização da água realizada com tubulações de PVC, afim de não ter problemas com o escoamento, existe a necessidade de uma inclinação na tubulação como representado no desenho e como demonstrado na Figura 4.

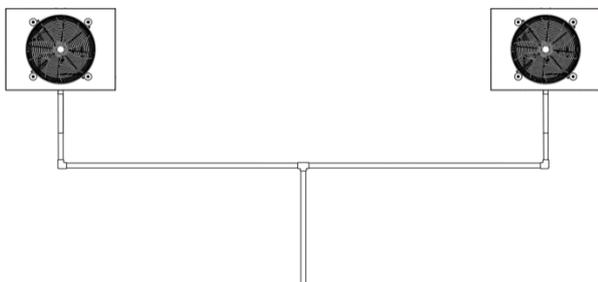


Figura 3 – Esquema contendo sugestão para captação de água.

Fonte: O próprio autor.

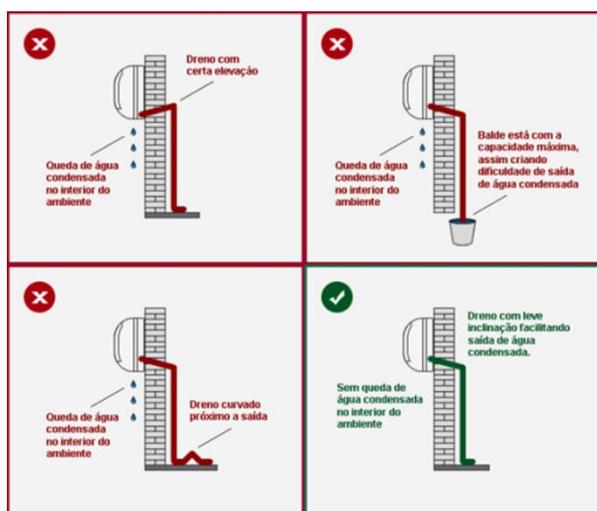


Figura 4 - Guia de instalação do dreno de aparelhos do modelo split.

Fonte: Correa (2020).

## CONCLUSÃO

O propósito do trabalho foi realizar uma análise sobre a média de produção de água condensada gerada pelos aparelhos condicionadores de ar e propor o desenvolvimento de um sistema para a captação dessa água para que sequencialmente seja reaproveitada de uma maneira sustentável. Essas medidas se tornam importantes para preservação do meio ambiente, já que são medidas sustentáveis e tem como propósito à preservação do ecossistema.

Em suma, por meio dos resultados alcançados, foi confirmada a hipótese de que é viável o desenvolvimento de um sistema de captação de água para aparelhos condicionadores de ar para locais como escolas, faculdades, edifícios, condomínios e até mesmo em residências, devido esses equipamentos produzirem uma

grande quantidade de água em relação ao tempo de uso.

Ao final do estudo, foi apresentada uma proposta de baixo custo como forma para captar a água condensada gerada pelos aparelhos condicionares de ar por meio de tubulações de PVC. A água coletada poderia ser usada para irrigação, lavagem de calçadas, janelas, carros, etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ANTONOVICZ, Diego; WEBER, Rhuann Georgio Bueno. **PMOC - Plano de Manutenção Operação e controle-nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. TCC – Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2013. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1380/1/MD\\_COMIN\\_2012\\_2\\_10.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1380/1/MD_COMIN_2012_2_10.pdf)>

CASTRO, Sérgio de Souza; CHAVES, Modesto, Antônio. **Software gráfico e analítico para a carta psicrométrica do ar**. Revista Brasileira de Agroinformática, 2003. Disponível em: <<https://silو.tips/download/sergio-de-souza-castro-1-modesto-antonio-chaves-2>>

GONÇALVES, Luciene Pavanello. **Condicionamento de ar e sua evolução tecnológica**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2005.

LEONARD-BARTON, Dorothy et al. A Dual Methodology for Case Studies: synergistic use of a longitudinal single site with replicated multiple sites. **Organization Science**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 248-266, ago. 1990. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.1.3.248>.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 216-229, abr. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132007000100015>.

PORTO-GONÇALVES, C. **Os porquês da desordem mundial: o desafio ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Record, 2004

RIGOTTI, Pedro Antonio Cardias. **Projeto de aproveitamento de água condensada de sistemas condicionadores de ar**. Trabalho de conclusão de curso – Panambi. Monografia (Graduação em engenharia mecânica). Universidade regional do nordeste do estado

do Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em:  
<<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2513/TCC%20PEDRO%20P%C3%93S%20BANCA%20%281%29.pdf?sequence=1>>

SABESP. **Dicas e testes.** Ao dar descarga. Disponível em:  
<<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=184>> Acesso em: 10 de jun. de 2021.