



BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CRISTIANI DANTAS MARQUES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE COLETA DE ÁGUA DE CONDENSADO
PROVENIENTE DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO**

CANOAS/RS

2022

CRISTIANI DANTAS MARQUES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE COLETA DE ÁGUA DE
CONDENSADO PROVENIENTE DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso graduação em Engenharia Mecânica do Centro Universitário Ritter dos Reis da Anima Educação – Campus Canoas – como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Dr. Sérgio Luis Telles Bartex

CANOAS/RS

2022

CRISTIANI DANTAS MARQUES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE COLETA DE ÁGUA DE CONDENSADO
PROVENIENTE DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Ritter dos Reis – Campus Canoas.

Canoas/RS, 15 de dezembro de 2022.

Prof. e orientador Sérgio Luis Telles Bartex, Dr.
Centro Universitário Ritter dos Reis

Prof. Antônio Colvara de Oliveira, Dr.
Centro Universitário Ritter dos Reis

RESUMO

A água é um recurso extremamente importante e vital para a sobrevivência dos seres vivos e devido a sua escassez atual, as práticas sustentáveis e o uso racional desse recurso natural vêm sendo bastante debatidos. Com o intuito de diminuir este problema, o recurso de reuso da água tem sido implementado nos últimos anos. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre a água condensada produzida pelo ar-condicionado e fazer recomendações para sua coleta e reutilização de forma sustentável e racional. Para isso, o trabalho teve como método um estudo de caso, realizando cálculos estimativos com ajuda de software computacional para obter a vazão mássica de água condensada gerada por um equipamento da marca Carrier com capacidade de 60.000 Btu/h. De acordo com os resultados obtidos, foi possível verificar que uma hora de funcionamento de um aparelho de capacidade de 60.000Btu/h pode gerar em torno de 7,8 litros por hora de água de condensado. Desta forma, com funcionamento médio de 4 horas diárias semanais, pode-se gerar um consumo de 1.248 litros de água de condensado por mês. De acordo com a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) e sua identificação de classes, verificou-se que seria viável propor um sistema de captação de água de condensado proveniente de ar-condicionado com um custo de R\$ 5.819,17. Além disso, é possível que a mesma seja reutilizada de diversas formas, como irrigando jardins, lavando calçadas, janelas, carros e outras atividades gerando, assim, uma economia de água potável e colaborando com o meio-ambiente.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Água. Captação de água de condensado. Condicionadores de ar. Projeto.

ABSTRACT

Water is an extremely important and vital resource for the survival of living beings and due to its scarcity that is covered nowadays, sustainable practices and rational use of this natural resource have been much debated and to remedy a little of this problem, the resource of water reuse have been implemented in recent years. The objective of this work is to carry out a study on the condensed water produced by air conditioning and to make recommendations for its collection and reuse in a sustainable and rational way. For this, the work had a case study method, performing estimative calculations with the help of computational software to obtain the mass flow of condensed water generated by a Carrier brand equipment with a capacity of 60,000 Btu/h. According to the results obtained, it was possible to verify that in one hour of operation of a device with a capacity of 60,000Btu/h, it can generate around 7.8 liters per hour of condensed water, coming from air conditioning, thus being able to , generate in up to one month, with operation on average 4 hours a day, a consumption of 1,248 liters of condensed water. In view of this, it was analyzed in which class of reuse water, this water could be reused, this class made available by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), where it was seen that it would be feasible to propose a system for capturing condensate water from of air conditioning at a cost of R\$ 5,819.17 so that it can be reused in different ways, such as irrigating gardens, washing sidewalks, windows, cars and among other activities, thus generating savings in drinking water and also collaborating with the environment -environment.

Keywords: Reuse. Water. Condensate water capture. Air conditioners. Project.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Classificação da água.....	19
Quadro 2 – Qualidade da água.....	22
Tabela 1 – Classe 1.....	23
Tabela 2 – Classe 2.....	24
Tabela 3 – Classe 3.....	24
Tabela 4 – Classe 4.....	25
Tabela 5 – Quantitativo obtido pelas bibliografias.....	35
Tabela 6 – Volume de água produzida por unidade dos condicionadores de ar.....	43
Tabela 7 – Quantidade de água produzida por hora.....	43
Tabela 8 – Dados analisados.....	44
Tabela 9 – Comparação de resultados.....	44
Tabela10 – Estimativa de quantidade de água de condensado.....	45
Tabela11 – Cálculo de pressão AMT para seleção da bomba centrífuga.....	49
Tabela 12 – Planilha de orçamento de materiais.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Retirada de água no Brasil.....	13
Figura 2 – Doenças mais comuns de veiculação hídrica.....	16
Figura 3 – Composição do ar.....	28
Figura 4 – Ciclo de refrigeração.....	31
Figura 5 – Tipos de evaporadores.....	32
Figura 6 – Tipos de condensadores a ar.....	33
Figura 7 – Instalação de dreno.....	34
Figura 8 – Localização da Sala 201: Prédio B.....	36
Figura 9 – Equipamento do tipo cassete.....	37
Figura 10 – Termômetro digital com sensor externo.....	37
Figura 11 – Sensores.....	38
Figura 12 – Termo-Higrômetro.....	39
Figura 13 – Interface do <i>software Computer Aided Thermodynamic Tables 3</i>	40
Figura 14 – Diâmetro e quantitativo de materiais.....	41
Figura 15 – Vista frontal fachada Uniritter Canoas (Projeto de tubulações PVC).....	46
Figura 16 – Fachada Uniritter Canoas (projeto de tubulações PVC – Sala 201).....	46
Figura 17 – Fachada Uniritter Canoas (projeto de tubulações PVC – Sala 200).....	47
Figura 18 – Área técnica cobertura: Uniritter Canoas (Projeto de tubulações PVC)....	48
Figura 19 – Esquema de ligação da bomba e caixa d’água.....	48
Figura 20 – Distribuição da água pela lateral do prédio da Uniritter de Canoas.....	49
Figura 21 – Seleção da bomba centrífuga: Catálogo Schneider.....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	9
1.2	JUSTIFICATIVA	10
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	10
1.3.1	Objetivo geral	10
1.3.2	Objetivos específicos	10
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	CONJUNTURA DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	12
2.2	ETA – ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	13
2.2.1	Parâmetros físicos	14
2.2.2	Parâmetros químicos	14
2.2.3	Características hidrobiológicas	16
2.2.4	Definição dos processos de tratamento	16
2.3	CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA.....	17
2.4	TIPOS DE REUSO DE ÁGUA NO BRASIL.....	20
2.4.1	Classes de água para reuso	22
2.5	GREEN BUILDING – OBRAS SUSTENTÁVEIS	25
2.6.1	Psicrometria	27
2.6.1.1	Composição do ar	27
2.6.1.2	Propriedades termodinâmicas do ar úmido	28
2.6.2	Sistema de ar-condicionado	30
2.6.2.1	Tipos de evaporadores.....	31
2.6.2.2	Tipos de condensadores a ar	33
2.6.3	Tubulação de dreno de ar-condicionado	33
2.6.4	Água de condensado de ar-condicionado	34

2.6.4.1	Qualidade da água de condensado de ar-condicionado	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA SALA E DOS MATERIAIS UTILIZADOS	36
3.1.1	Sala 201 – Prédio B	36
3.1.2	Termômetros digitais	37
3.1.3	Termo-Higrômetro	38
3.1.4	Software Computer Aided Thermodynamic Tables 3.....	39
3.2	EQUAÇÕES UTILIZADAS	40
3.2.1	Dimensionamento da caixa d'água.....	41
3.2.2	Dimensionamento e quantitativo de materiais de sucção, recalque e distribuição da água na edificação - bomba centrífuga.....	41
3.2.3	Dimensionamento da bomba centrífuga	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	PROPOSTA DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO	44
4.2	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PILOTO PARA A CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CONDENSADO.....	45
4.3	ORÇAMENTO DOS MATERIAIS	50
5	CONCLUSÕES DO PRESENTE TRABALHO	52
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	ANEXOS	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A água é o recurso natural mais abundante que existe no planeta terra com mais de 70% da superfície e é essencial para os seres humanos e para o ecossistema. No entanto, somente 2,76% de toda essa água é doce, o que a torna potável para consumo (VENANCIO et al., 2015). Segundo os dados do relatório publicado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef), aproximadamente 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso à água potável, o que equivale a um em cada três habitantes do planeta (ONU, 2019).

Nos países em desenvolvimento, esse problema está associado em 80% às doenças e mortalidade. O Brasil armazena 12% da água doce mundial, porém problemas geográficos e populacionais dificultam sua distribuição, como é o caso da Amazônia, que comporta 74% desta água, mas apenas 5% é distribuída para a população (FORGHIERI, 2021). Pelo fato da maior parte desta água se encontrar na Amazônia, fica inviável a utilização da mesma para abastecer diversos estados e cidades do Brasil. A escassez de água é resultado de diversos fatores, como o desperdício, a diminuição de chuvas, o aumento de consumo, o crescimento populacional e outros fatores que colaboram para sua insuficiência (GRECO, 2020).

Por esses motivos, é urgente a necessidade de uso racional da água e pesquisas sobre seu reuso. Essa demanda tem crescido significativamente nos últimos anos e diversas empresas e empreendimentos têm se preocupado com o meio ambiente e vêm buscando alternativas para a utilização da água de reuso. Nessa perspectiva, os aparelhos de ar-condicionado geram uma quantidade significativa de água de condensado que pode ser reutilizada para diversas atividades, como limpeza de calçadas, lavagem de automóveis e irrigação de plantas, diminuindo assim o consumo de água diário.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com um novo relatório divulgado pela OMS e pelo UNICEF (UNICEF, 2019), em todo o mundo, aproximadamente um em cada três pessoas (2,1 bilhões de pessoas) não têm acesso à água potável e disponibilizada em casa, enquanto seis em cada 10 pessoas (4,4 bilhões de pessoas) não têm acesso à saneamento. A presente proposta de estudo se justifica pela importância de meios alternativos sustentáveis para reutilização de águas desperdiçadas e sem um destino adequado nas instalações de projetos de ar-condicionado. Geralmente, a água de condensado não tem um destino adequado, sendo desperdiçada; desta forma, este estudo visa estudar a água de condensado gerada pelos ar-condicionados e verificar as vantagens e a economia que o reuso pode gerar, a depender do local no qual será projetado, contribuindo com o meio-ambiente a partir da utilização racional e sustentável de água que seria desperdiçada.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em objetivo geral e específicos, os quais são apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo sobre a água de condensado proveniente de ar-condicionado e, por meio deste, propor a realização de um sistema que tem como propósito a reutilização desta água.

1.3.2 Objetivos específicos

- A. Buscar, em normas e bibliografias adequadas, como proceder na captação de água de condensado;
- B. Pesquisar sobre a classificação e tipos de reuso da água;
- C. Pesquisar sobre tipos de evaporadores, psicrometria e tubulações de dreno;
- D. Pesquisar sobre *Green Built* e prédios sustentáveis;
- E. Pesquisar sobre a qualidade da água de condensado;

- F. Estimar o volume de condensado para aparelhos de ar-condicionado;
- G. Elaborar uma proposta para a canalização e reaproveitamento da água condensada proveniente dos ares-condicionados.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo um é composto pela introdução, na qual é citado o objetivo geral, objetivos específicos, justificativa e problema de pesquisa. O capítulo dois trata da fundamentação teórica, abordando temas relacionados aos recursos hídricos, sistemas de ar-condicionado e água de condensado. No terceiro capítulo, é abordada a metodologia, com o tipo de trabalho e os métodos para realizar a pesquisa. O capítulo quatro engloba a discussão por meio dos resultados obtidos e uma proposta para captação da água condensada dos aparelhos. O capítulo cinco compreende as conclusões do tema estudado e o capítulo seis as referências bibliográficas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONJUNTURA DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas não têm água suficiente disponível para consumo doméstico e estima-se que 5,5 bilhões de pessoas vivem em desidratação moderada ou grave (HAUPT, 1997). O Brasil tem uma área de 8.512.000 quilômetros quadrados e uma população de aproximadamente 157 milhões de habitantes e, é hoje, o quinto maior país do mundo em termos de tamanho e população. O país tem uma posição privilegiada perante a maioria das nações quanto ao seu volume de recursos hídricos; porém, mais de 73% da água doce disponível no país encontra-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Portanto, apenas 27% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para os demais 95% da população (LIMA, 2000).

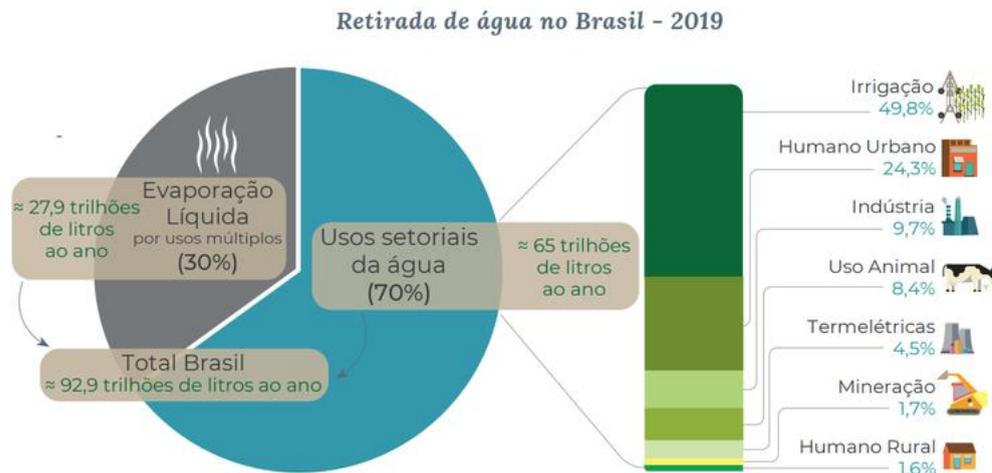
A água é um dos recursos mais importantes do mundo e a sua forma de abastecimento natural acontece por meio de chuvas que abastecem rios, lagos, mares e mananciais. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) no Brasil, o relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos é fonte para o monitoramento sistemático e anual das estatísticas e indicadores relacionados à água do país para os mais diversos fins, bem como para estruturar as informações e disponibilizá-las à sociedade. Muitas dessas informações vêm de pesquisas governamentais e bancos de dados de vários órgãos públicos e provedores locais de saneamento (ANA, 2019).

No Brasil, a utilização da água acontece principalmente para irrigação de lavouras, abastecimento público, atividades industriais, geração de energia, extração mineral, aquicultura, navegação, turismo e lazer. Cada uso depende e pode ser afetado por condições específicas de quantidade e qualidade da água (VICTORINO, 2007). Os locais de uso podem ser classificados como consuntivos (aqueles que captam e consomem água, como a indústria) e não consuntivos (não consumidos diretamente, mas dependentes da preservação das condições naturais ou da operação de infraestrutura hídrica, como o setor de turismo e lazer) (ANA, 2019).

Aproximadamente 93 trilhões de litros de água são retirados anualmente de fontes superficiais e subterrâneas para atender a uma gama de usos consuntivos diversos e setoriais. A evaporação de líquidos, irrigação, termoeletricidade e algumas

indústrias têm uma forte variação sazonal, o que significa que o consumo de água pode variar significativamente entre os meses do mesmo ano (ANA, 2019)

Figura 1 – Retirada de água no Brasil.



(Fonte: ANA, 2019).

As informações sobre o uso da água são desenvolvidas continuamente por meio de pesquisas, estudos setoriais e cadastro de usuários. Para que os diferentes setores usufruam da água, a ANA realiza pesquisas e emite regulamentações para garantir a disponibilidade de recursos hídricos. Painéis indicadores, mapas interativos, ferramentas e metadados estão organizados na área de estudos de uso da água do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), garantindo ampla disponibilidade de conteúdos produzidos pela ANA e seus parceiros. A área de regulação e controle do SNIRH também possui informações sobre registros e subsídios de uso da água e a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil apresenta anualmente um panorama temático sintético e disponível publicamente, além das notícias mais importantes (ANA, 2019).

2.2 ETA – ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As unidades de tratamento de água são definidas pelas seguintes características:

As unidades de tratamento de água são estabelecidas pelas características físicas, químicas e biológicas da água bruta e utilização, que pode ser para indústria, agricultura ou consumo humano (Zanchetta; Ferreira; Sugara, 2021, p. 232).

2.2.1 Parâmetros físicos

- Cor - A cor da água resulta de sua capacidade de absorver radiação de um determinado espectro visível e geralmente é devido às substâncias dissolvidas, coloidais ou suspensas de origem mineral e orgânica;
- Turbidez - A turbidez é uma propriedade ótica da água que faz com que a luz incidente na amostra seja espalhada e absorvida ao invés de transmitida diretamente. Isso se deve à presença de partículas suspensas que variam em tamanho desde uma suspensão grosseira até um estado coloidal;
- Sabor e odor - As características de sabor e cheiro são discutidas em conjunto porque estão intimamente relacionadas e são fáceis de misturar. Reconhecem-se apenas quatro sabores: azedo, doce, amargo e salino. Substâncias inorgânicas na água geralmente produzem sabor sem produzir odor. A água adquire um sabor salino a partir de 300 mg/l de cloretos e um sabor amargo quando a concentração de sulfato é superior a 400 mg/l;
- Condutividade - A condutividade elétrica é a capacidade da água de conduzir eletricidade e é definida como o recíproco da resistência (LAGES, 2018).

2.2.2 Parâmetros químicos

- pH - O pH intervém diretamente na concentração das diversas espécies químicas subsistentes na água:
 - a) $\text{pH} \leq 4$, somente Cl_2 dissolvido;
 - b) $4 \leq \text{pH} \leq 5,6$, somente ácido hipocloroso HOCl não dissociado;
 - c) $5,6 < \text{pH} < 9,7$, parte do ácido hipocloroso se dissocia em prótons H^+ e íons hipoclorito OCl^- ;
 - d) $\text{pH} \geq 9,7$, somente íon hipocloroso.

- Alcalinidade - A alcalinidade é uma medida da capacidade da água de neutralizar ácidos. Os principais íons constituintes da alcalinidade são: bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidróxido (OH^-), já comentados no item sobre o sistema carbonato;
- Acidez - Águas superficiais ácidas geralmente têm sua acidez originada em esgotos industriais ácidos ou por lixiviação ou infiltração de águas de minas. A maioria das águas naturais são tamponadas por um sistema constituído de ácido carbônico dissolvido H_2CO_3 e bicarbonatos HCO_3^- , geralmente com um pH entre 6 e 8,3;
- Dureza - É uma característica conferida à água pela presença de alguns íons metálicos bivalentes, principalmente os de cálcio Ca^{++} e de magnésio Mg^{++} e, em menor grau, os de ferro Fe^{++} e de estrôncio Sr^{++} ;
- Cloretos, sulfatos e sólidos totais - O conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, constituído por bicarbonatos, cloretos, sulfatos e, em menor concentração, outros sais, pode, em grandes concentrações, conferir à água sabor salino e propriedades laxativas;
- Ferro e manganês - O ferro e o manganês encontram-se frequentemente associados e os problemas que sua presença na água provocam para os consumidores e os processos de tratamento para sua remoção são semelhantes. O ferro e o manganês são dissolvidos pela água subterrânea, que tem um alto conteúdo em CO_2 e um baixo pH;
- Produtos farmacêuticos - A presença de produtos farmacêuticos na água atualmente é de séria preocupação, principalmente pela tendência de reuso. Podem ser detectados em fontes de água, produtos de higiene pessoal (xampus, desodorantes), antibióticos e compostos que têm a capacidade de desorganizar o sistema hormonal, associados com a síntese, a utilização e a transformação de hormônios. Por exemplo, o oxiânion (perclorato) afeta a tireoide e a antrazina (herbicida) afeta uma enzima responsável pela regulação dos hormônios (INTRUSUL, 2019). A Figura 2 apresenta doenças comuns de veiculação hídrica.

Figura 2 – Doenças mais comuns de veiculação hídrica.

Organismos	Doença
Vírus	
Poliomielite	Poliomielite, paralisia infantil
ECHO	Meningite, diarreia infantil
Vírus desconhecidos	Hepatite infecciosa
Bactérias	
<i>Leptospirae</i>	Leptospirose
<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratifoide
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifoide
<i>Shigella</i>	Disenteria bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Protozoários	
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase (diarreia)
Helmintos (parasitas)	
<i>Echinococcus</i>	Equinococose (cisto hidático ou hidatitose)
<i>Schistosoma</i>	Esquistossomose

Fonte: Richter (2009, p. 81).

2.2.3 Características hidrobiológicas

- Bactérias - Uma grande variedade de micro-organismos vive nas águas superficiais, a maior parte inofensiva ao ser humano;
- Algas - Algas são plantas com clorofila que, por meio dela, realizam a fotossíntese, usualmente unicelulares. Porém algumas espécies podem atingir vários metros de comprimento (RICHTER, DE AZEVEDO NETTO, 1991).

2.2.4 Definição dos processos de tratamento

Para a produção de água potável, os processos de tratamento devem ser escolhidos de forma que alguns componentes possam ser removidos ou reduzidos da água bruta. Assim, as principais limitações para a escolha dos processos unitários são a natureza da água bruta e a qualidade desejada da água tratada. A seleção final dos processos mais adequados deve ser baseada na segurança do processo, facilidade

de construção, disponibilidade de equipamentos adequados, facilidade de operação e manutenção e custos de construção. De um modo geral, as estações de tratamento de água atualmente utilizadas no Brasil podem ser classificadas em três categorias básicas:

- Estações de tratamento convencionais - É a categoria que apresenta o maior número, seja em unidades usuais com decantadores de fluxo horizontal ou em unidades de alta taxa. São adequadas para águas turvas correntes, de turbidez média a elevada, suportando cargas de até 1.000 UNT;
- Estações de filtração direta – Atualmente são amplamente utilizadas, um tanto indiscriminadamente, principalmente por ser de baixo custo, com a eliminação dos tanques de decantação e suporta cargas de turbidez de até 50-60 UNT;
- Estações de flotação a ar dissolvido - Apesar de sua aplicação relativamente recente, a qual admite cargas de turbidez de até 600 UNT, a primeira instalação na América foi construída em 1992, em Joinville/SC, e atualmente vem despertando grande interesse, com mais de 20 instalações operando no Brasil (RICHTER, 2009).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA

As quantidades máximas permitidas de poluentes na água são determinadas de acordo com o uso pretendido. Esses conteúdos formam os padrões de qualidade estabelecidos pelas autoridades estaduais, cujo objetivo é garantir que a água utilizada para o fim a que se destina não contenha impurezas nocivas. (SANT'ANA; MEDEIROS, 2017).

Os padrões de qualidade da água dependem da finalidade de uso. Assim, a água potável difere das necessidades das águas balneares (água recreativa de contato primário) que, por sua vez, não são as mesmas da água de irrigação ou água destinada à utilização industrial. Mesmo entre as indústrias, existem diferentes requisitos de qualidade, dependendo do método de processamento e dos produtos da indústria. Uma forma de determinar a qualidade da água dos mananciais é categorizá-la de acordo com seus usos pretendidos e estabelecer critérios ou condições que devem ser atendidos (SABBATINI, 2015).

No Brasil, a classificação das águas foi determinada pela Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 18 de junho de 1986. Essa resolução estabeleceu nove categorias, sendo cinco delas água doce (salinidade até 0,5%), água salobra águas (de 0,5 a 30% de salinidade e 2 com salinidade (salinidade igual ou superior a 30%) e as classes especiais de 1 a 4 indicam água doce, classes 5 e 6 água salgada e classes 7 e 8 água salobra (ICMBIO, 1986). As coleções de águas estaduais são classificadas, segundo seus usos preponderantes, em cinco classes (Deliberação Normativa COPAM 10/86*), de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação da água.

Uso preponderante de água	Classificação				
	Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção	X				
Abastecimento doméstico, após tratamento simplificado		X			
Abastecimento doméstico, após tratamento convencional			X	X	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X				
Proteção das comunidades aquáticas		X	X		
Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)		X	X		
Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película		X			
Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas			X		
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras				X	
Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana		X	X		
Dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X
Usos menos exigentes					X

Fonte: Sabbatini (2015).

2.4 TIPOS DE REUSO DE ÁGUA NO BRASIL

No Brasil, a água de reuso está sendo utilizada como alternativa para diversas fontes do tipo não potável na agricultura, irrigação, limpeza urbana, lavagem de veículos, em sanitários de empreendimentos, entre outros (MOURA et al., 2020). O artigo da resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), possui as seguintes definições:

- I – água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- II – reuso de água: utilização de água residuária;
- III – água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- IV – reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- V – produtor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reuso;
- VI – distribuidor de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reuso; e
- VII – usuário de água de reuso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reuso.

A água de reuso pode ocorrer de forma direta, que acontece de forma planejada e realizada por esgotos tratados e com diferentes finalidades, como o uso industrial, irrigação, recarga de aquífero e água potável; de forma indireta, que é quando a água já é utilizada para uso doméstico e industrial, é despejada em águas superficiais ou subterrâneas e reciclada de forma diluída; e por meio de reciclagem interna, que é o reuso de água de instalações industriais, no qual o objetivo é a economia de água e o controle de poluição.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) adota duas grandes categorias (potável e não potável) que são divididas nas seguintes categorias:

- Reuso potável direto: quando o esgoto é recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável;
- Reuso potável indireto: caso na qual o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação e tratamento e, finalmente, utilizado como água potável;
- Reuso não potável: Este tipo de reuso apresenta um potencial muito amplo e diversificado. Por não exigir níveis elevados de tratamento, vem se tornando um processo viável economicamente e, conseqüentemente, com rápido desenvolvimento. Em função da diversidade de uso, pode ser classificado em: (a) reuso não potável para fins agrícolas: embora apresente como subproduto a recarga do lençol subterrâneo, o objetivo é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas e cereais e plantas não alimentícias, tais como pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais; (b) reuso não potável para fins industriais: abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo e utilização em caldeiras; (c) reuso não potável para fins recreacionais: classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e para enchimento de lagos ornamentais; (d) reuso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reuso de água para a rega de jardins e descargas sanitárias, além da utilização desse tipo de água em grandes edifícios;
- Reuso para manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando a adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.

Outras definições importantes incluem a aquicultura, que consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados, e a recarga de aquíferos subterrâneos, que é a recarga dos aquíferos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta, pela injeção sob pressão, ou de forma indireta, utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

A presença de produtos químicos e organismos patogênicos na água recuperada é uma grande preocupação para seus potenciais consumidores. A remoção de poluentes depende da eficiência dos sistemas de tratamento, cuja

tecnologia, por sua vez, depende da qualidade da água produzida para reuso (BRASIL, 2006).

2.4.1 Classes de água para reuso

A Figura 3 apresenta os diferentes usos da água e suas respectivas qualidades requeridas.

Quadro 2 – Qualidade da água.

Uso geral	Uso específico	Qualidade requerida
Abastecimento de água doméstico	–	<ul style="list-style-type: none"> → Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde → Isenta de organismos prejudiciais à saúde → Adequada para serviços domésticos → Baixa agressividade e dureza → Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor; ausência de microrganismos)
Abastecimento Industrial	Água é incorporada ao produto (ex.: alimento, bebidas, remédios)	<ul style="list-style-type: none"> → Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde → Isenta de organismos prejudiciais à saúde → Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor)
	Água entra em contato com o produto	→ Variável com o produto
Irrigação	Água não entra em contato com o produto (ex.: refrigeração e caldeiras)	<ul style="list-style-type: none"> → Baixa dureza → Baixa agressividade
	Hortaliças, produtos ingeridos crus ou com casca	<ul style="list-style-type: none"> → Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde → Isenta de organismos prejudiciais à saúde → Salinidade não excessiva
	Demais plantações	<ul style="list-style-type: none"> → Isenta de substâncias químicas prejudiciais ao solo e às plantações → Salinidade não excessiva
Dessedentação de animais	–	<ul style="list-style-type: none"> → Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde dos animais → Isenta de organismos prejudiciais à saúde dos animais
Preservação da flora e fauna	–	→ Variável com os requisitos ambientais da flora e da fauna que se deseja preservar
Recreação e lazer	Contato primário (contato direto com o meio líquido); (ex.: natação, esqui, surfe)	<ul style="list-style-type: none"> → Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde → Isenta de organismos prejudiciais à saúde → Baixos teores de sólidos em suspensão, óleos e graxas
	Contato secundário (não há contato direto com o meio líquido); (ex.: navegação de lazer, pesca, lazer contemplativo)	→ Aparência agradável
Geração de energia	Usinas hidrelétricas	→ Baixa agressividade
	Usinas nucleares ou termelétricas (ex.: torres de resfriamento)	→ Baixa dureza
Transporte	–	→ Baixa presença de material grosseiro que possa pôr em risco as embarcações
Diluição de despejos	–	–

Fonte: Sperling (1996).

A ANA (2005) estabelece quatro classes de água para reuso, através da Resolução Conama nº 357:

Classe 1 – Atividades como lavagem de roupas, pisos, veículos, descarga de bacias sanitárias e entre outros (chafarizes, espelho de água, entre outros) (Tabela 1);

Tabela 1 – Classe 1.

Parâmetros	Concentração
Coliformes fecais	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2 UT
Odor e Aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total ⁴ (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólido dissolvido total ⁵ (SDT) (mg/L)	≤ 500 mg/L

Fonte: ANA (2005).

Classe 2 – Atividades voltadas à construção como lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira (Tabela 2);

Tabela 2 – Classe 2.

Parâmetros	Concentração
Coliformes fecais	≤ 1000/ml
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e Aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	30 mg/L

Fonte: ANA (2005).

Classe 3 – Atividades voltadas à irrigação de áreas verdes e regas de jardim, no qual os padrões de qualidade estabelecidos levam em consideração contaminantes biológicos e químicos que possam vir afetar o homem e o meio ambiente (Quadro 2);

Tabela 3 – Classe 3.

Parâmetros	Concentrações	
Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
	Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
	Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L
	Regas de jardim e similares	3,0 mg/L
Nitrogênio total (mg/L) 5 - 30 mg/L		5 - 30 mg/L
DBO (mg/L) < 20 mg/L		< 20 mg/L
Sólidos suspensos totais (mg/L) < 20 mg/L		< 20 mg/L
Turbidez (UT) < 5 UT		< 5 UT
Cor aparente (UH) < 30 UH		< 30 UH
Coliformes fecais (mL) ≤ 200/ 100 L		≤ 200/ 100mL

Fonte: ANA (2005).

Classe 4 – Atividades voltada ao reuso de água em torres de resfriamento (Quadro 3);

Tabela 4 – Classe 4.

Parâmetros	Sem Circulação	Com Circulação
Sílica	50	50
Alumínio	SR	0,1
Ferro		0,5
Manganês		0,5
Amônia		1
Sólidos Dissolvidos Totais	1000	500
Cloretos	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos em Suspensão Totais	5000	1000
pH	5,5-8,3	6,8-7,2

Fonte: ANA (2005).

2.5 GREEN BUILDING – OBRAS SUSTENTÁVEIS

Como este trabalho aborda o reuso da água de condensado de ar-condicionado, é interessante debater sobre os prédios sustentáveis, que têm crescido no mercado da construção. Nesse sentido, é importante que se abordem opções sustentáveis de prédios eficientes, reuso de água, redução de energia elétrica, além de buscar maior eficiência na seleção dos equipamentos de ar-condicionado. O interesse por construções sustentáveis é crescente e até mesmo a demanda por esse tipo de construção tem aumentado. Com o aumento populacional, aumentou a preocupação em planejar novas obras e construções de renovação com um conceito mais sustentável, incluindo o reaproveitamento e aquecimento de água, energia solar e reaproveitamento (SILVERIO, 2019).

Um dos selos mais importantes é o *Leadership in Energy and Environmental Design* – LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental), que é o sistema de certificação e orientação ambiental de edificações utilizado em diversos países e visa estimular mudanças em projetos, obras e atividades de construção, sempre com foco na sustentabilidade das operações (GBC BRASIL, 2014). A certificação LEED pode ser aplicada em qualquer edifício ou empreendimento em diferentes fases, tanto durante a construção quanto na operação. O LEED possui quatro tipologias ou categorias que correspondem às diferentes necessidades para cada tipo de empreendimento (GBC BRASIL, 2018). São elas:

- *Building design + construction* - (novas construções e grandes reformas);
- *Interior design + construction* - (escritórios comerciais e lojas de varejo);
- *Operation & maintenance* - (empreendimentos existentes);
- *Neighborhood* - (bairros).

Os projetos para obter a certificação LEED são analisados em oito dimensões ou áreas e, em todas elas, existem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos (recomendações) que geram pontuações às edificações e empreendimentos (GBC BRASIL, 2018). São eles:

- Localização e transporte;
- Espaço sustentável;
- Eficiência do uso da água;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e recursos;
- Qualidade ambiental interna;
- Inovação e processos;
- Créditos de prioridade regional.

O nível da certificação é definido por quantidade de pontos adquiridos por meio do *checklist* que aborda cada dimensão, resultando em uma variação de 40 a 110 pontos (GBCBRASIL, 2018). Os níveis são:

- *Certified* - 40 a 49 pontos;
- *Silver* - 50 a 59 pontos;
- *Gold* - 60 a 79 pontos;
- *Platinum* - 80 + pontos.

2.6 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CONDENSADO DE AR-CONDICIONADO

Os sistemas de ar-condicionado são bastante utilizados pela população brasileira pois trabalham para proporcionar conforto térmico por meio do controle de temperatura, produzindo água de condensado reutilizável que, ainda, é despejado em

calçada, ruas e esgotos (CARVALHO; CUNHA; FARIA, 2012). Para um melhor entendimento sobre esses sistemas e como eles funcionam, serão abordados alguns tópicos básicos.

2.6.1 Psicrometria

Antes de abordar os princípios básicos do ar-condicionado, primeiramente, é necessário conhecer os princípios básicos de psicrometria. A psicrometria estuda as propriedades termodinâmicas do ar úmido e o uso destas propriedades na análise das condições e processos que envolvem o ar úmido (ASHRAE, 2013).

2.6.1.1 Composição do ar

Inicialmente, faz-se necessário definir o ar e suas constituições (Figura 4). O ar seco é uma mistura de diversos componentes gasosos, com composição relativamente constante. Pequenas variações nas quantidades dos componentes podem ocorrer com o tempo, localização geográfica e altitude (ASHRAE, 2013). A massa molecular aparente do ar seco é 28,9645 kg/kg-mol e a do vapor d'água é de 18,01528 kg/kg-mol, ambas na escala do carbono 12 (ASHRAE, 1997). A constante dos gases para o ar seco, baseada na escala do carbono 12, é:

$$R_a = 8314,41 / 28,9645 = 287,055 \text{ (J/Kg} \cdot \text{K)}.$$

Figura 3 – Composição do Ar.

Componente	Fórmula	% em volume	Massa molecular (kg/kg-mol)
Nitrogênio	N ₂	78,084	28,016
Oxigênio	O ₂	20,9476	32,000
Argônio	Ar	0,934	39,948
Dióxido de carbono	CO ₂	0,0314	44,010
Neônio	Ne	0,001818	20,183
Hélio	He	0,000524	4,0026
Metano	CH ₄	0,00015	16,03188
Dióxido de Enxofre	SO ₂	0 a 0,0001	64,064
Hidrogênio	H ₂	0,00005	2,01594
Criptônio	Kr	0,0002	93,80
Ozônio	O ₃	0,0002	48,000
Xenônio	Xe	0,0002	131,3

Fonte: ASHRAE (1997, pág. 61).

A mistura ar seco e vapor d'água é denominada de ar úmido ou de mistura binária de ar seco e vapor d'água. A quantidade de vapor d'água presente na mistura pode variar de zero até um valor correspondente à condição de saturação. Isso corresponde à quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode suportar em determinada condição de temperatura (ASHRAE, 1997). Definindo, ar saturado é uma mistura de ar seco e de vapor d'água saturado – mais precisamente, é o vapor d'água que é saturado e não o ar; e ar não saturado é uma mistura de ar seco e vapor d'água superaquecido (ASHRAE, 1997).

2.6.1.2 Propriedades termodinâmicas do ar úmido

De acordo com Martinelli Junior (2003), diversas propriedades termodinâmicas fundamentais estão associadas com as propriedades do ar úmido de maneiras diferentes e três propriedades estão associadas com a temperatura:

- a) Temperatura do bulbo seco (TBS);
- b) Temperatura termodinâmica do bulbo úmido (TBU);
- c) Temperatura do ponto de orvalho (t₀).

Algumas propriedades termodinâmicas caracterizam a quantidade de vapor d'água presente no ar úmido:

- a) Pressão de vapor (PV);
- b) Razão de umidade (x);
- c) Umidade relativa (j);
- d) Grau de saturação (m).

Outras propriedades de fundamental importância, relacionadas ao volume ocupado pelo ar e à energia do ar, respectivamente, são:

- a) O volume específico (v);
- b) A entalpia (h).

A entalpia e o volume específico são propriedades da mistura ar seco e vapor d'água, mas, por conveniência, são expressas com base em uma unidade de massa de ar seco (MARTINELLI JUNIOR, 2003). De acordo com *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2001), podemos ter uma breve descrição de cada propriedade:

- Temperatura de bulbo seco (TBS) – É a temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto à radiação. É a verdadeira temperatura do ar úmido e é frequentemente denominada apenas temperatura do ar;
- Temperatura de bulbo úmido (TBU) – É a temperatura indicada por um termômetro cujo bulbo foi previamente envolto por algodão úmido, tão logo seja atingido o equilíbrio térmico. Nesse tipo de termômetro, a mistura ar seco e vapor d'água sofre um processo de resfriamento adiabático, pela evaporação da água do algodão no ar, mantendo-se à pressão constante;
- Temperatura de orvalho (t_0) – É a temperatura no qual o vapor se condensa ou solidifica quando é resfriado à pressão constante e conteúdo de umidade constante;
- Pressão de vapor (PV) – A PV é a pressão parcial exercida pelas moléculas de vapor d'água presentes no ar úmido;

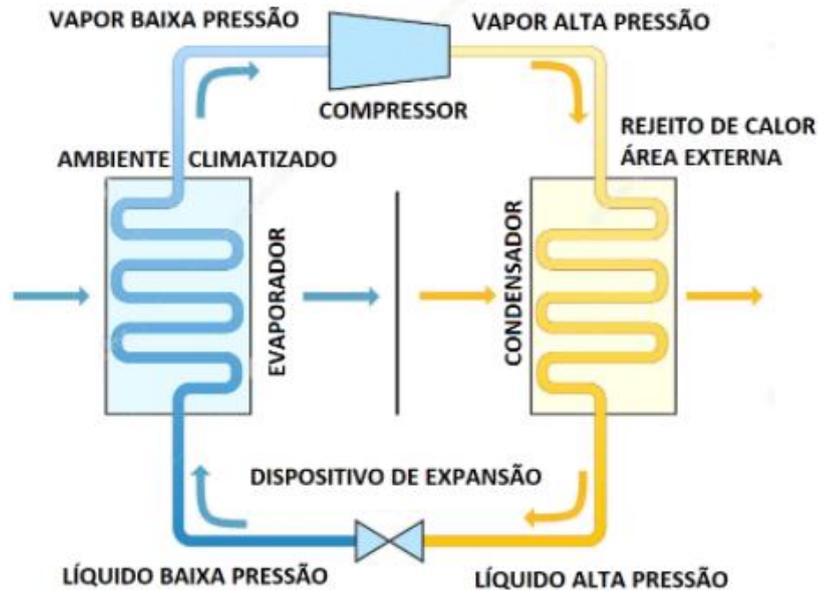
- Razão de umidade (x) – É definida como a razão entre a massa de vapor d'água e a massa de ar seco em um dado volume da mistura;
- Umidade relativa (j) – É definida como sendo a relação entre a pressão parcial do vapor d'água na mistura (PV) e a pressão de saturação correspondente à temperatura de bulbo seco da mistura (PVS);
- Grau de saturação (μ) – Grau de saturação é a relação entre a razão de umidade atual da mistura (x) e a razão de umidade do ar na condição de saturação (xS) à mesma temperatura e pressão atmosférica.
- Volume específico (v) – O volume específico do ar úmido é definido como o volume ocupado pela mistura ar seco e vapor d'água por unidade de massa de ar seco. A massa específica do ar úmido não é igual ao recíproco do seu volume específico. A massa específica do ar úmido é a razão entre a massa total da mistura e o volume ocupado por ela.
- Entalpia para o ar úmido (h) – A entalpia da mistura ar seco e vapor d'água é a energia do ar úmido por unidade de massa de ar seco, acima de uma temperatura de referência (visto que somente diferenças de entalpia são de interesse prático em engenharia, o valor escolhido para a temperatura de referência torna-se irrelevante).

2.6.2 Sistema de ar-condicionado

De acordo com a SMACNA (2021), os princípios básicos de um sistema de ar-condicionado envolvem os seguintes componentes:

- Compressor, que transforma vapor em baixa temperatura e baixa pressão para vapor quente em alta pressão;
- Condensador, que é o responsável por rejeitar o calor do ambiente climatizado;
- Dispositivo de expansão, que é o responsável por transformar o fluido líquido em alta pressão e alta temperatura para baixa pressão e baixa temperatura, mantendo o estado líquido;
- Evaporador, que é o responsável por resfriar o ar e realizar a troca de calor entre o fluido do sistema e o ar ambiente.

Figura 4 - Ciclo de refrigeração.



Fonte: SMACNA (2021).

Nesse sentido, um compressor comprime o gás frio, transformando-o em gás quente de alta pressão (Figura 5). O gás quente percorre o trocador de calor para dissipar o calor gerado e condensa para o estado de líquido. Este líquido escoar através da válvula de expansão, de modo que o processo é vaporizado para se tornar gás frio de baixa pressão – em azul. Este gás frio corre pelo trocador de calor, permitindo que o gás absorva calor e resfrie o ar do ambiente. Ao mesmo tempo, misturado com o fluido refrigerante, há uma pequena quantidade de óleo de baixa densidade cuja função é lubrificar o compressor junto com ele no processo (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

2.6.2.1 Tipos de evaporadores

De acordo com Ribeiro (2018), dentre os equipamentos de ar-condicionado, tem-se diversos tipos e modelos de evaporadores. Porém, serão listados os equipamentos mais utilizados nos projetos de ar-condicionado:

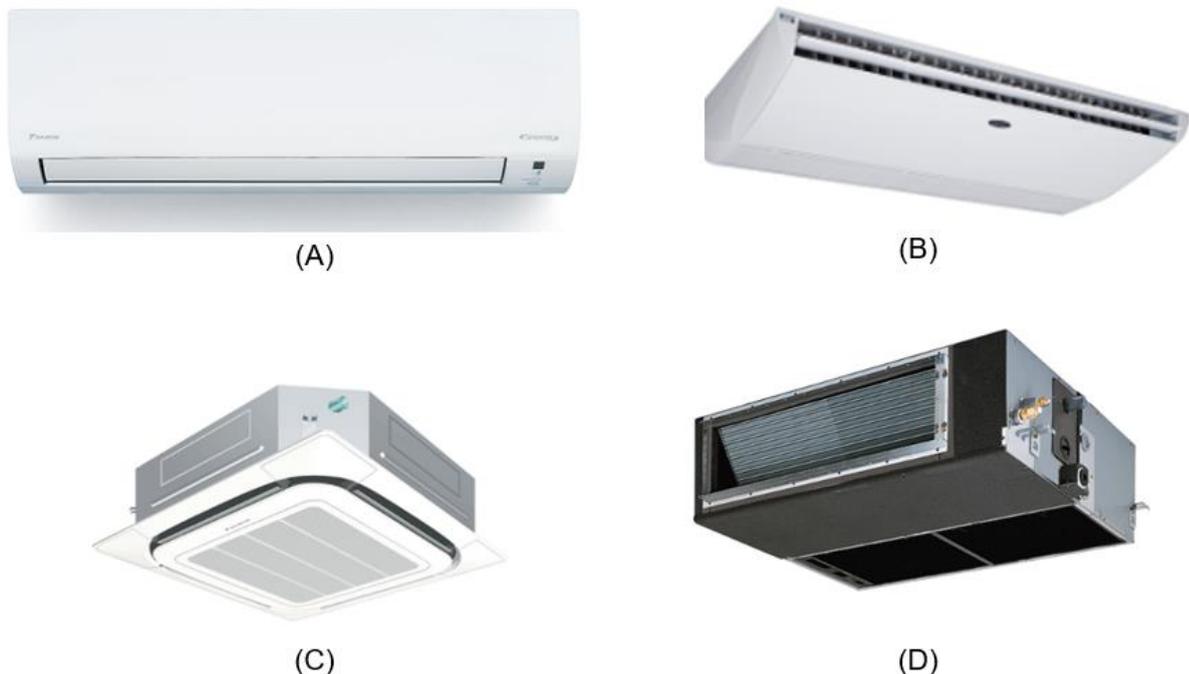
a) Hi-Wall: Modelo que é instalado na parede, próximo ao teto. Seu insuflamento é feito através de uma abertura, controlada por palhetas localizadas na frente do equipamento e seu retorno é feito na parte superior do equipamento (Figura 6A). (ANTONOVICZ; WEBER, 2013);

b) Piso-Teto: Modelo que possibilita a instalação tanto no piso quanto no teto. É um evaporador para maiores capacidades térmicas. Quando instalado no teto tem insuflamento pela parte frontal e retorno pela parte de baixo (Figura 6B) (OLIVEIRA; MARTINS, 2014);

c) Cassete: Modelo que possui de uma a quatro vias para a saída do ar, controladas individualmente, e instalado no teto ou no forro, de maneira embutida. Seu insuflamento é feito pelas aletas e o retorno é feito na parte de baixo (meio) do equipamento que fica exposta ao ambiente (Figura 6C) (OLIVEIRA; MARTINS, 2014);

d) Dutado: Modelo de baixa e alta pressão que é utilizado para conexão de duto que distribui o ar pelo ambiente de maneira mais homogênea (Figura 6D) (ANTONOVICZ; WEBER, 2013).

Figura 5 – Tipos de evaporadores.



Legenda: (A) Hi-wall; (B) Piso Teto; (C) Cassete; (D) Dutado ou built-in.
Fonte: Daikin (2022); Carrier (2022).

2.6.2.2 Tipos de condensadores a ar

Os condensadores (Figura 7) utilizam o ar do ambiente para remover o calor de condensação do refrigerante, ou seja, o condensador precisa transferir mais calor do que o retirado pelo evaporador (MILLER, 2017). Os condensadores mais comuns são constituídos por serpentina aletada, ventilador para movimentação do ar e compressor; porém, tudo depende do tipo de sistema que será utilizado (WEBARCONDICIONADO, 2020).

Figura 6. Tipos de condensadores a ar.

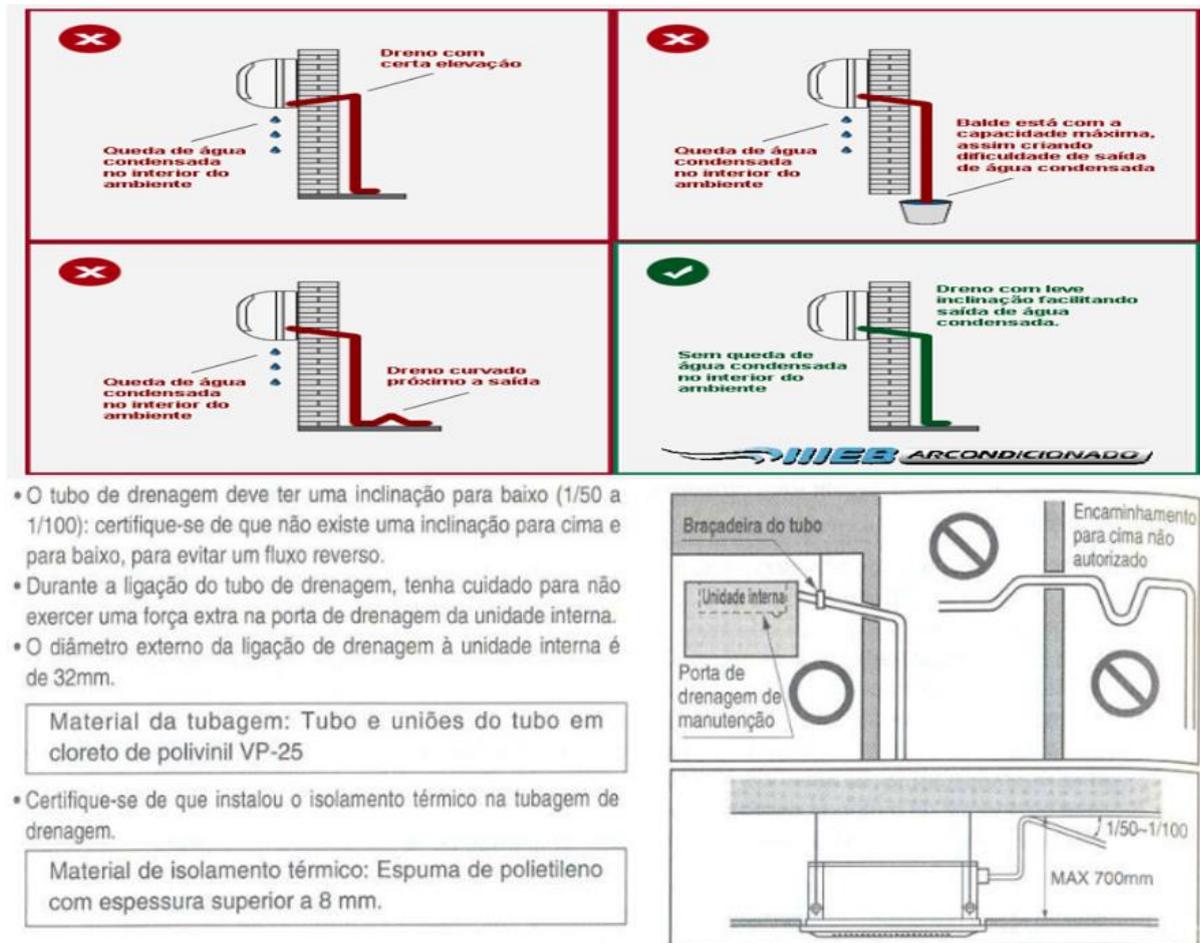


Fonte: WebArCondicionado (2020).

2.6.3 Tubulação de dreno de ar-condicionado

O sistema de drenagem em evaporadoras que são instaladas em paredes (*High Wall* e *Piso-Teto*) é feito por meio de mangueira cristal de 3/4" conectada diretamente no equipamento. O sistema pode ser isolado ou em conjunto com as tubulações frigoríferas e, nas evaporadoras instaladas no forro (cassete e dutado), ambos vêm com uma bomba de drenagem no equipamento que facilita a instalação do dreno, que pode ser feito com cano de PVC ou com mangueira flexível (CORREA, 2020). Detalhes sobre a instalação do dreno podem ser visualizados na Figura 8.

Figura 7 – Instalação de dreno.



Fonte: Correa (2012).

2.6.4 Água de condensado de ar-condicionado

A questão da água está inserida em um contexto amplo no qual diversos fatores contribuem para sua redução de eficiência no ciclo hidrológico, contribuindo para a escassez hídrica. O principal motivo se deve ao aumento da urbanização sem planejamento de infraestrutura urbana, no qual a falta de infraestrutura e saneamento também prejudica a saúde pública (NUNES, 2006). A água gerada pelos aparelhos de ar-condicionado varia de acordo com a potência do aparelho, o tempo de utilização e o clima da região; em locais com clima mais úmido, a condensação é maior (ARBOX, 2018).

Quando o sistema está em operação para gerar conforto térmico, o mesmo retira a umidade do ambiente em que está instalado, realizando o processo de condensação, que é quando a água passa do vapor para líquido. O dreno é responsável por expelir a água acumulada no equipamento (FORTES et al., 2015).

Grande parte da água de condensado que é gerada pelo ar-condicionado não tem descarte correto na hora da instalação, sendo descarregada em calçadas e ruas. Com base nisso, é necessário buscar formas estratégicas de reaproveitamento dessa água, mudando os hábitos de toda a sociedade para o uso econômico desse recurso natural, com o objetivo de diminuir a demanda por fontes (FERREIRA et al., 2016).

2.6.4.1 Qualidade da água de condensado de ar-condicionado

Alguns estudos mostram que é possível utilizar água de condensado proveniente de ar-condicionado para fins de lavagem de pisos, veículos, descargas de bacias sanitárias, entre outros (CARVALHO; CUNHA; FARIA, 2012; CUNHA et al., 2014; NÓBREGA, 2015) (Tabela 3).

Tabela 5 - Quantitativo obtido pelas bibliografias.

Parâmetros	Carvalho; Cunha; Faria (2012)	Cunha et al. (2014)	Nobrega (2015)
pH	7,03 – 7,34	6,68 – 7,79	7,03
Turbidez	-	-	0,45
Cor aparente	-	-	4
Alcalinidade	1,0761	0,952 – 1,002	0,47
Dureza (mg/L)	0,85 – 9,33	0 – 9,30	12
Cloreto (mg/L)	0	0	0
Condutividade (µS/cm)	20,76	10,13 – 20,69	70
STD (ppm)	-	-	32,73

Fonte: Carvalho; Cunha; Faria (2012); Cunha et al. (2014); Nobrega (2015).

De acordo com Carvalho; Cunha; Faria (2012) e Cunha et al. (2015), a água condensada tem parâmetros físico-químicos semelhantes à água destilada, o que aponta para a necessidade de controlar os metais que podem ter sido adicionados à água durante a condensação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o método de estudo de caso, que é utilizado de diversas formas, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, e pode ser aplicado em diversos campos do conhecimento (VENTURA, 2007). Este estudo tem como objetivo estimar a quantidade de água de condensado, gerado pelos ares-condicionados, com a ajuda de um *software* computacional e propor alternativas de reutilização desta água de uma forma consciente. Para realizar as coletas de dados e os cálculos, foram utilizados dois termômetros digitais com sensor externo para medir a temperatura (T) de entrada e saída de ar do evaporador e um termo-higrômetro para medir a umidade relativa (U) do ar e a vazão de ar (m³/h) do equipamento, fornecido pelo fabricante.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA SALA E DOS MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Sala 201 – Prédio B

Foi utilizada uma sala de aula localizada na Uniritter, campus de Canoas/RS, prédio B, número 201 (Figura 9), com ocupação de aproximadamente 30 alunos, orientação solar Sul e um equipamento do tipo cassete com capacidade de 60.000Btu/h, marca Carrier (Figura 10).

Figura 8 – Localização da Sala 201: Prédio B.



Fonte: Google Maps (2022).

Figura 9 – Equipamento do tipo cassete.



Fonte: A própria autora (2022).

3.1.2 Termômetros digitais

Foram utilizados dois termômetros digitais (modelo TPM-10) com sensor externo e *display* LCD, com faixa de medição de temperatura entre -50 e 80°C, precisão de leitura de 1°C (-20°C a 40°C) e resolução 1°C (≤ -20) 0,1 (-20°C) (Figura 11).

Figura 10 – Termômetro digital com sensor externo.



Fonte: Elitech (2022).

Na Figura 12, é visualizado o sensor 1, que foi colocado no insuflamento de ar do equipamento, e o sensor 2, colocado no retorno de ar do equipamento para a coleta de dados.

Figura 11 – Sensores.



Fonte: A própria autora (2022).

3.1.3 Termo-Higrômetro

Foi utilizado um termo-higrômetro modelo (FY-11) com *display* LCD, faixa de medição de temperatura entre -50 e 70°C e precisão de leitura de aproximadamente 1°C, com faixa de medição de umidade de 10 a 90% e precisão de leitura de aproximadamente 5% (Figura 13).

Figura 12 – Termo-Higrômetro.

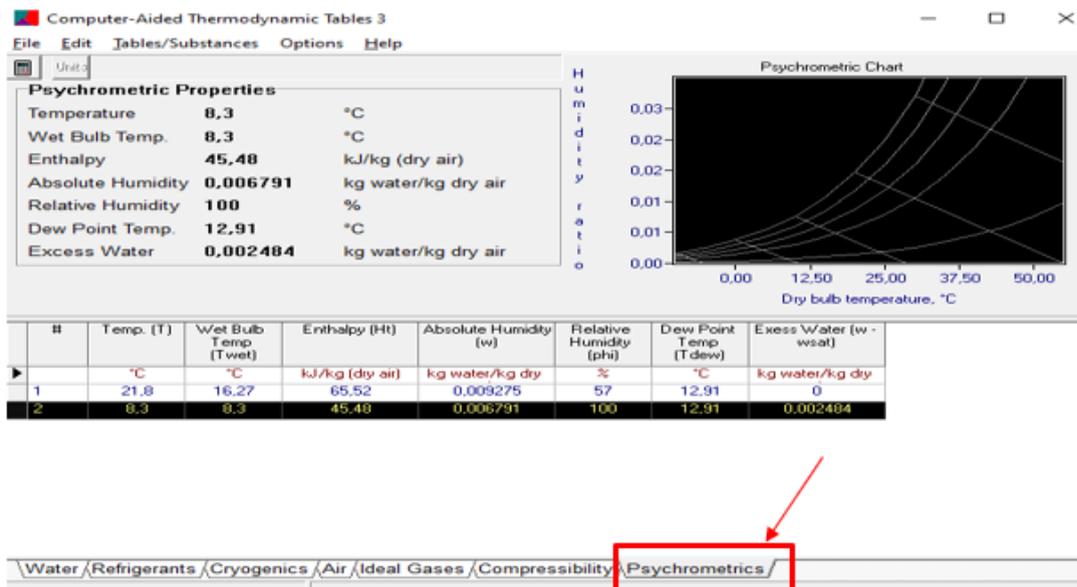


Fonte: A própria autora (2022).

3.1.4 Software Computer Aided Thermodynamic Tables 3

Para validar os estudos, os dados coletados foram inseridos no *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3* (Figura 14) para gerar o gráfico da carta psicrométrica do ar com variação de intervalos de temperatura, permitindo a obtenção dos valores exatos dessas propriedades. Esse *software* foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar engenheiros e pesquisadores no estudo de análise das propriedades termodinâmicas, permitindo obter propriedades de substância como a água, refrigerantes, estudo das propriedades psicrométricas do ar úmido e de outras propriedades, estudo de processos completos e sua representação gráfica nos diagramas TxS e PxV.

Embora a análise possa ser realizada por meio de uma carta psicrométrica, ela requer tempo e interpolação visual, levando a erros nos dados. Portanto, pode limitar a aquisição das propriedades em pontos de estado do intervalo, pois apresenta uma escala fixa para as temperaturas (CASTRO; CHAVES, 2003). Primeiramente, foram inseridos no *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3* os dados de temperatura de entrada (Sensor 1) e umidade relativa do ar (termo-higrômetro), no qual obteve-se a umidade absoluta (w). Na sequência, foi inserido no *software* a temperatura de saída (Sensor 2) juntamente com a umidade absoluta (w), para obter-se a taxa de condensação (Kg Água/ KgAr).

Figura 13 – Interface do software *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*.

Fonte: software Computer Aided Thermodynamic Tables 3.

3.2 EQUAÇÕES UTILIZADAS

Com base neste estudo e nos valores obtidos pela coleta de dados, por meio dos instrumentos (sensores) e do software *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, foi necessário realizar algumas equações de termodinâmica para obter os resultados da geração de água de condensados, conforme as equações abaixo:

(1) Cálculo de vazão mássica do ar (\dot{m}):

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

onde Q é a vazão volumétrica (m³/h) e ρ é a massa específica (kg/m³);

(2) Cálculo de vazão mássica da água (\dot{m}):

$$\dot{m} = \dot{m}_{ar} (w - w_{sat})$$

onde \dot{m}_{ar} é a vazão mássica do ar (kg/h) e w é a umidade absoluta (kgar/kgágua);

(3) Cálculo de margem de erro:

$$\text{Erro} = \frac{\dot{m}_{agua} - \dot{m}_{coletado}}{\dot{m}_{coletado}} \times 100$$

3.2.1 Dimensionamento da caixa d'água

De acordo com a tabela 8 (estimativa de quantidade de água de condensado), um mês de coleta gera em torno de 1.248 litros de água de condensado proveniente de ares-condicionados. Portanto, de acordo com estes dados, é necessário fazer a seleção de uma caixa d'água de 1.500 litros de volume para que água seja armazenada de uma forma correta, evitando transtorno de vazamento, gerando assim, desperdício de água de reuso.

3.2.2 Dimensionamento e quantitativo de materiais de sucção, recalque e distribuição da água na edificação - bomba centrífuga

Para dimensionar as tubulações de PVC, será utilizado a seguinte equação:

(1) Cálculo do diâmetro:

$$D_r = K \times (T/24)^{0,25} \times \sqrt{Q}$$

onde D_r é o diâmetro da tubulação (\emptyset), K é o coeficiente de balanço, T é o tempo (h) e Q é a vazão (m^3/s).

Na Figura 15 é visualizado o resultado do cálculo utilizado pela equação de cálculo de diâmetro e o quantitativo de materiais que será utilizado para a realização do projeto.

Figura 14 – Diâmetro e quantitativo de materiais.

	Diâmetro (\emptyset)	Tubulação PVC Soldável (metros)	Curva 90° PVC Soldável	Luva PVC Soldável	Tê PVC Soldável	Válvula Gaveta PVC	Válvula Retenção PVC	União PVC Soldável	Adaptador Soldável	Registro Esfera Soldável
Sucção	40	38	6	5	1	0	0	1	1	1
Recalque	30	6	3	0	0	1	1	1	3	1
Saída da Tubulação para Distribuição no Edifício	30	24	2	0	0	0	0	0	1	1

Fonte: A própria autora (2022).

3.2.3 Dimensionamento da bomba centrífuga

Para dimensionar a bomba centrífuga, serão utilizadas as seguintes equações:

(1) Cálculo de vazão da caixa d'água:

$$V=L/T$$

onde V é a vazão (m³/h), L é litros (m³) e T é o tempo (h);

(2) Cálculo de pressão (AMT):

$$AMT = (AS + AR + (MT \times FPC))$$

onde AMT é a pressão (m.c.a.), AS é a altura da sucção da bomba centrífuga (m), AR é a altura de recalque da bomba centrífuga (m), MT é a medida da tubulação (m), FPC é o fator de perda de carga encontrado nos catálogos dos fabricantes (neste caso é o valor de 0,1%).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com Santos et al. (2016), um equipamento de ar-condicionado com capacidade térmica de 60.000Btu/h gera, na prática, em torno de 7,8 litros de água de condensado por hora (Tabela 4).

Tabela 6 – Volume de água produzida por unidade dos condicionadores de ar.

Marca	Potência (BTU/h)	Volume em 1 hora de Funcionamento (Litros)
Komeco	60.000	7,8

Fonte: Santos et al. (2016).

Na tabela 5 apresentam-se os horários que foram feitas as coletas por Santos et al. (2016) e os resultados obtidos.

Tabela 7 – Volume de água produzida por unidade dos condicionadores de ar.

Turno	Quantidade de água produzida por hora (litros)	Horário de coleta	Quantidade de água produzida (litros)
Turno Matutino	7,8	08:00 às 11:20hs	24,96
Turno Vespertino	7,8	13:00 às 17:20hs	32,76
Turno Noturno	7,8	18:00 às 22:00hs	31,2
Total			88,92

Fonte: Santos et al. (2016).

Para obter a vazão mássica do ar, primeiro foi verificada a densidade do ar para a temperatura de saída do ar (Sensor 2), por meio do *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, no qual a temperatura foi convertida em Kelvin (K), dado este coletado na tabela A-4 (ANEXO A), com algumas interpolações realizadas para obter a densidade relativa do ar. Após obter a vazão mássica do ar, foi realizado o cálculo de vazão mássica da água (Tabela 6) e a comparação de resultados (Tabela 7).

Tabela 8 – Dados analisados.

Vazão:	2.600m³/h					
Capacidade:	60.000Btu/h					
Marca:	Carrier					
Dia 1						
Horário	Temp. da sala (°C)	Temp. de entrada sensor 1 (°C)	Temp. de saída sensor 2 (°C)	Umidade relativa (%)	Taxa de condensado (kgH ₂ O/kgAr)	Água de condensado (kg/h)
15:00hs	22	21,8	8,3	57	0,002484	8
16:00hs	19	19,9	7,4	61	0,002344	7,61
17:00hs	19	19,3	7,1	60	0,002105	6,8
18:00hs	19	19	7	60	0,001991	6,5

Fonte: A própria autora (2022).

Tabela 9 – Comparação de resultados.

Comparação de resultados			
Horário	Vazão mássica calculada no <i>software</i> (kg/h)	Coleta na prática Santos et al. (2016) (L/h)	Erro (%)
15:00hs	8	7,8	2,50%
16:00hs	7,61	7,8	2,50%
17:00hs	6,8	7,8	14,71%
18:00hs	6,5	7,8	20,00%
Total	28,91	31,2	

Fonte: A própria autora (2022).

Pode-se observar, por meio da tabela Tabela 7, a aproximação dos dados coletados e inseridos no *software* e os dados coletados na prática por Santos et al. (2016). As diferenças encontradas podem ser justificadas pelo fato da coleta de dados realizada por meio dos instrumentos (termômetros e termo-higrômetro) não ser tão eficaz na medição do equipamento.

4.1 PROPOSTA DE SISTEMA DE CAPTAÇÃO

De acordo com os dados apresentados na Tabela 7, pode-se notar que é viável a execução de um sistema de captação de condensado por meio de uma cisterna ou reservatório ou, ainda, implementar um projeto específico para a reutilização desta água, devido a quantidade gerada por hora.

Na Tabela 3, que estabelece os quantitativos e parâmetros obtidos pelos experimentos de Carvalho; Cunha; Faria (2012), Cunha et al. (2014) e Nobrega

(2015), é possível fazer uma comparação do pH da água através do tópico 2.4.1, que fala sobre as classes de água para reuso. A melhor opção para destinar o uso adequado da água proveniente do ar-condicionado seria a correlação da Tabela 1, no qual é possível utilizar a água para atividades como lavagem de pisos, veículos, descarga de bacias sanitárias, entre outros.

De acordo com os resultados, um aparelho de 60.000Btu/h gera, em média, 7,8 litros de água de condensado por hora. Com estes dados, pode-se fazer uma estimativa da quantidade de água desperdiçada em um mês no andar em que foi feita a coleta, o qual possui dois aparelhos de ar-condicionado de 60.000Btu/h. Supondo que as salas utilizem os aparelhos de ar-condicionado quatro horas por dia e cinco dias na semana em horário de aula, isso geraria uma quantidade de água de condensado considerável, conforme a Tabela 8:

Tabela 10 – Estimativa de quantidade de água de condensado.

Ambiente	Quantidade de aparelho de ar-condicionado	(L/h)	Quantidade em 4 horas (L/h)	Quantidade em 5 dias (L/h)	Quantidade em 1 mês (L)
Sala 200	1	7,8	31,2	156	624
Sala 201	1	7,8	31,2	156	624
Total	2	15,6	62,4	312	1248

Fonte: A própria autora (2022).

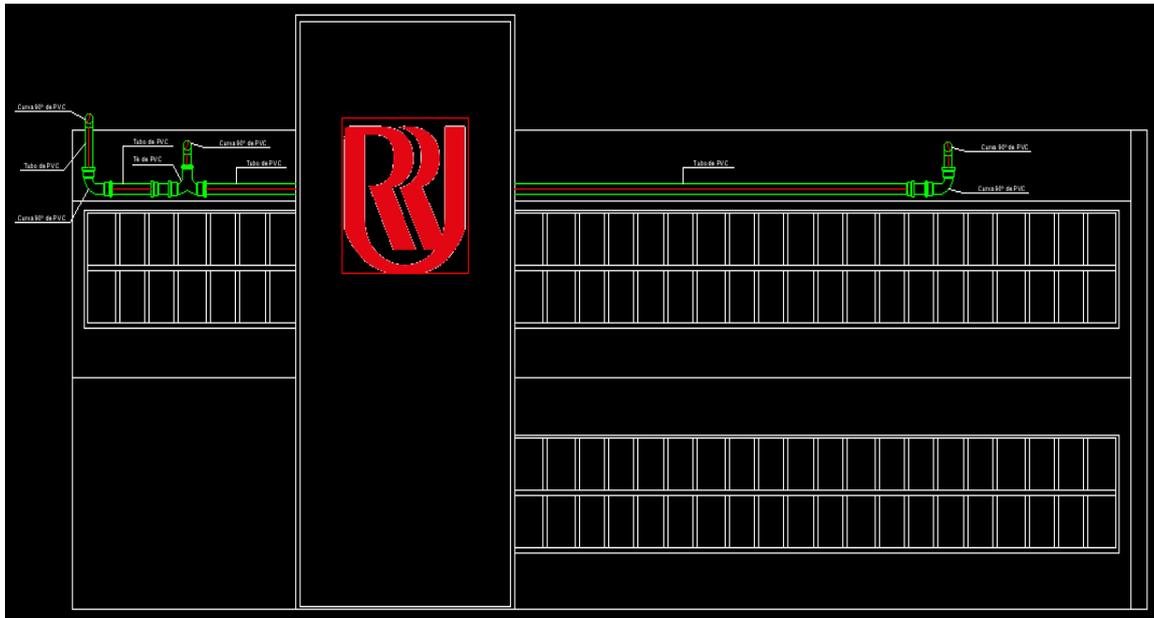
Os resultados mencionados na Tabela 8 mostram que, caso esse método seja utilizado, a captação da água de condensado do ar-condicionado pode oferecer uma economia significativa, promovendo uma alternativa sustentável.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PILOTO PARA A CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CONDENSADO

A água de condensado de ar-condicionado gerada pelas salas 200 e 201 pode ser captada pelos pontos de drenos que estão expostos na fachada do prédio, interligando com tubulações e conexões de PVC e necessitando de uma inclinação adequada, conforme a Figuras 8. Em seguida, pode-se conectar essas tubulações em uma bomba centrífuga, juntamente a um reservatório de água colocado na cobertura do prédio, para que a água seja coletada e aproveitada para irrigação de plantas, lavagem do pátio e outros tipos de uso.

A Figura 16 mostra uma vista frontal da fachada da Uniritter de Canoas, onde estão localizadas as salas 200 e 201 do prédio B com o projeto piloto de tubulação de PVC para a captação da água de condensado.

Figura 15 – Vista frontal fachada Uniritter Canoas (Projeto de tubulações PVC).



Fonte: A própria autora (2022).

A Figura 17 apresenta uma vista frontal da fachada da Uniritter de Canoas, onde está localizada a sala 201 do prédio B com o projeto piloto de tubulação de PVC para a captação da água de condensado.

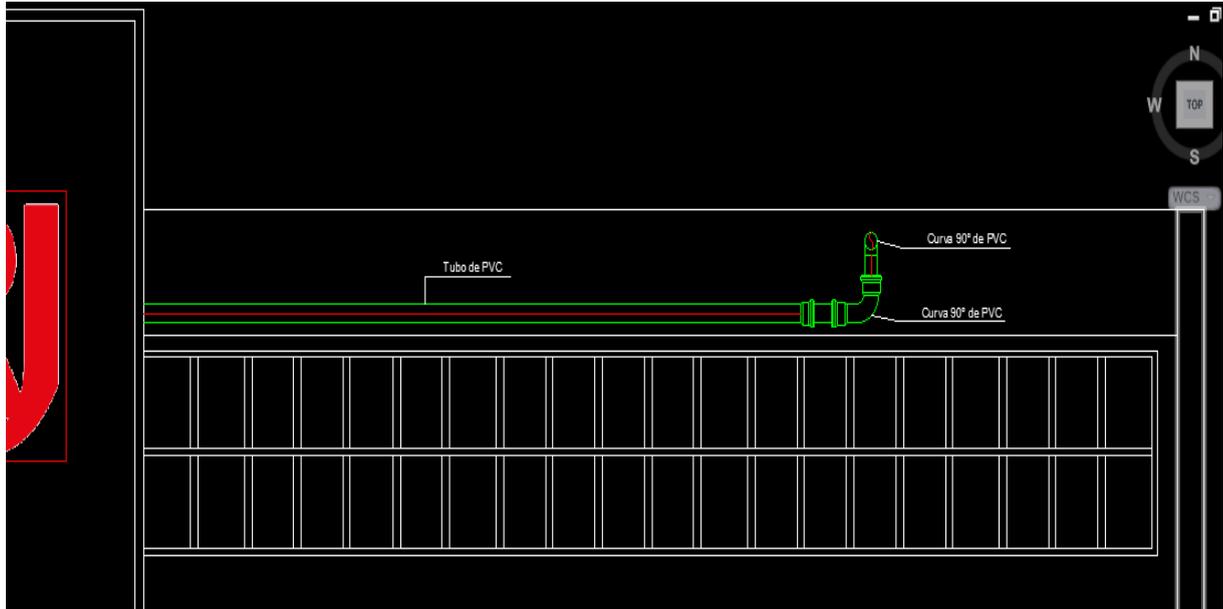
Figura 16 – Fachada Uniritter Canoas (projeto de tubulações PVC – Sala 201).



Fonte: A própria autora (2022).

A Figura 18 mostra uma vista frontal da fachada da Uniritter de Canoas, onde está localizada a sala 200 do prédio B com o projeto piloto de tubulação de PVC para a captação da água de condensado.

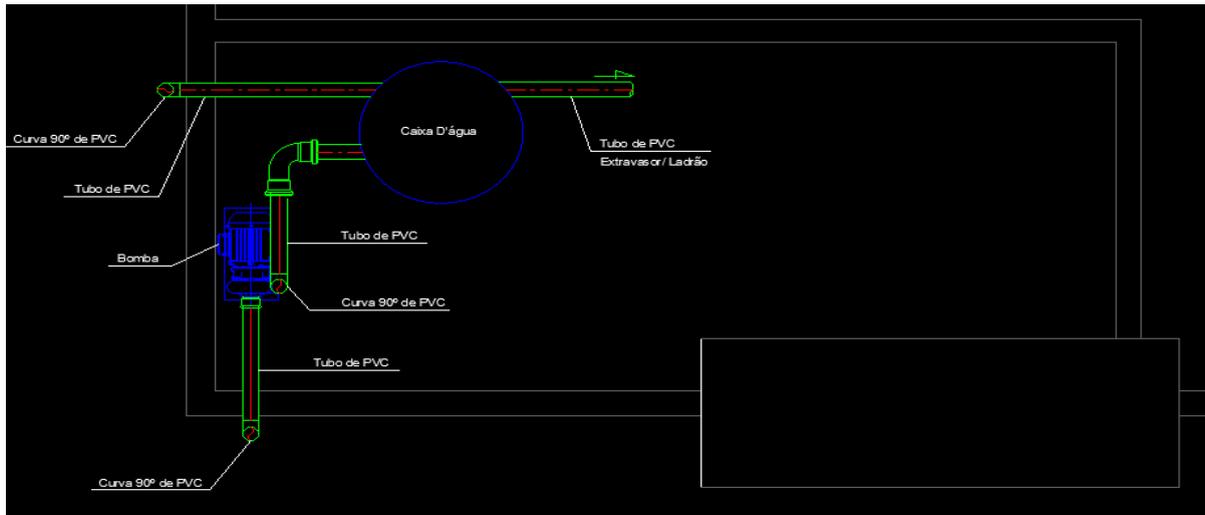
Figura 17 – Fachada Uniritter Canoas (projeto de tubulações PVC – Sala 200).



Fonte: A própria autora (2022).

Na Figura 19, mostra-se uma vista superior da área técnica, situada em cima da sala 201 do prédio B com o projeto piloto de tubulação de PVC, a caixa d'água, a bomba centrífuga para a captação da água de condensado e a descida do tubo de PVC pela lateral do prédio para que a água seja utilizada.

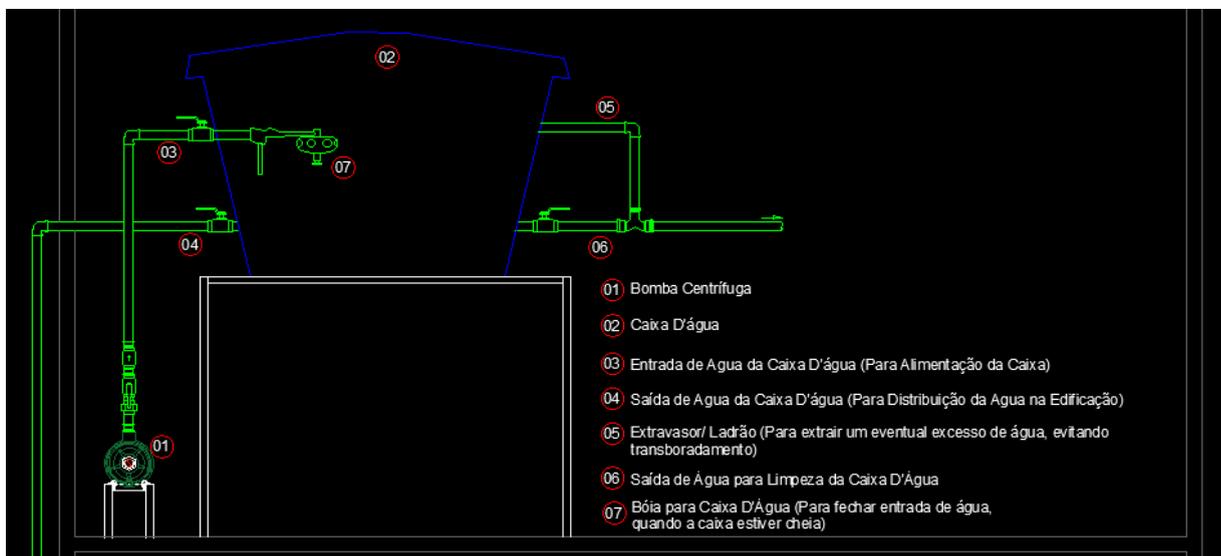
Figura 18 – Área técnica cobertura: Uniritter Canoas (Projeto de tubulações PVC).



Fonte: A própria autora (2022).

A Figura 20 representa uma vista de corte, mostrando um ilustrativo de como é feito o esquema de ligação entre as tubulações de PVC, a caixa d'água e a bomba centrífuga para a captação de água de condensado.

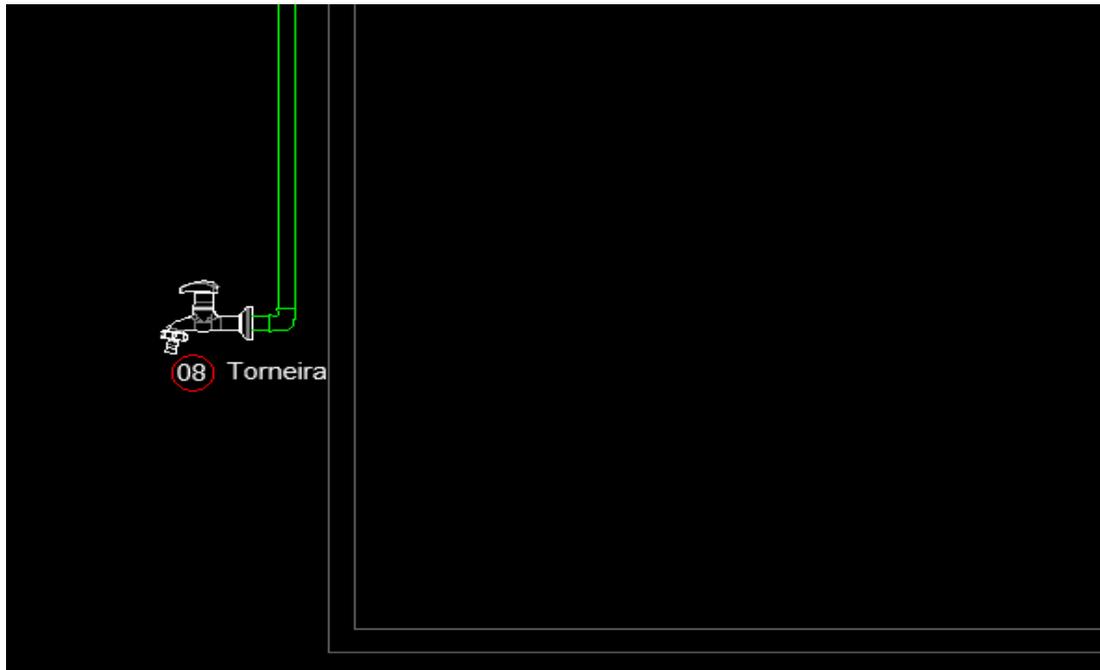
Figura 19 – Esquema de ligação da bomba e caixa d'água.



Fonte: A própria autora (2022).

Na Figura 21, apresenta-se uma vista lateral do prédio com a descida do tubo de PVC que será utilizado para a distribuição da água coletada armazenada na caixa d'água. A mesma será utilizada para lavagens de pátio, vidros, carros, irrigação de plantas e outras atividades.

Figura 20– Distribuição da água pela lateral do prédio da Uniritter de Canoas.



Fonte: A própria autora (2022).

A Tabela 9 expõe os resultados obtidos por meio das equações apresentadas no tópico 3.2.3, obtendo assim o total do AMT juntamente com a vazão (m³/h) para fazer a seleção da bomba centrífuga.

Tabela 11 – Cálculo de pressão AMT para seleção da bomba centrífuga.

Altura de sucção (AS) (metros)	Altura de recalque (AR) (metros)	Metragem total da tubulação (MT) (metros)	Fator de perda de carga (FPC)	Total AMT (M.C.A.)	Bomba centrífuga modelo/potência
5	6	46	0,69	13	BC-09/ 1/2CV

Fonte: A própria autora (2022).

Na Figura 22, mostra-se como foi feita a seleção da bomba centrífuga por meio dos resultados obtidos pela Tabela 9, a qual mostra o total de AMT e a vazão por hora, obtidos na Tabela 8.

Figura 21 – Seleção da bomba centrífuga: Catálogo Schneider.

MODELO	Potência (CV)	Monofásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m c.a.)	Altura máxima de sucção (m c.a.) (**)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS - Rotação corrigida para 3500 rpm																	
								Altura Manométrica Total (m c.a.)																	
								2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Vazão em m ³ /h válida para sucção de 0 m c.a.																									
BC-98	1/3	x	3/4	3/4	18	8	107	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,5	2,3	2,0	1,6	1,2		
	1/2	x	3/4	3/4	20	8	107	5,5	5,4	5,2	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3	1,8	1,1

(Fonte: Catálogo Schneider, 2022).

4.3 ORÇAMENTO DOS MATERIAIS

Para o cálculo de custos, foi utilizado como referência uma média de preços praticado pelas empresas Cassol, Leroy Merlin e Schneider. Na Tabela 10, visualiza-se o orçamento dos materiais para implantação do sistema de captação de água de condensado proveniente de ares-condicionados das salas 200 e 201 do prédio B da Uniritter Canoas.

Tabela 12 – Planilha de orçamento de materiais.

Materiais	Especificações	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Tubo de PVC Soldável	40mm	38	m	64,90	2466,2
Tubo de PVC Soldável	32mm	30	m	44,89	1346,7
Curva 90° PVC Soldável	40mm	6	pç	8,59	51,54
Curva 90° PVC Soldável	32mm	6	pç	5,50	33
Luva PVC Soldável	40mm	5	pç	4,89	24,45
Tê PVC Soldável	40mm	1	pç	13,79	13,79
Tê PVC Soldável	32mm	1	pç	5,39	5,39
Válvula Gaveta (Deca)	32mm	1	pç	64,29	64,29
Válvula de Retenção PVC Soldável	32mm	1	pç	62,90	62,9
União PVC Soldável	40mm	1	pç	27,65	27,65
União PVC Soldável	32mm	1	pç	35,30	35,3
Adaptador Soldável Curto com Bolsa e Rosca para Registro	40mm x 1/2"	1	pç	4,95	4,95
Adaptador Soldável Curto com Bolsa e Rosca para Registro	30mm x 1/2"	4	pç	3,50	14
Válvula Esfera PVC Soldável	40mm	1	pç	32,90	32,9
Válvula Esfera PVC Soldável	32mm	4	pç	20,50	82
Adesivo Plástico para PVC (Cola)	850g	2	un.	58,90	117,8
Caixa D'água - 1.500L	-	1	un.	892,90	892,9
Bomba Centrífuga - Modelo BC-98 - 1/2CV - Fab.: Schneider	-	1	un.	539,90	539,9
Torneira Plástica para Jardim	1/2"	1	un.	3,51	3,51
Total					R\$ 5.819,17

Fonte: A própria autora (2022).

Alguns materiais tiveram quantidades a mais do que o quantitativo posto na Figura 15, pois foi contabilizada toda a infraestrutura de materiais e acessórios para implantação do sistema de captação de água de condensado, proveniente de ar-condicionado das salas 200 e 201, do prédio B do Campus da Uniritter de Canoas.

5 CONCLUSÕES DO PRESENTE TRABALHO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência dos seres humanos e de toda a natureza. Ela serve para diversas atividades diárias e, por ser um recurso natural limitado, deve ser utilizada de forma adequada. Em alguns estados e cidades do Brasil e do mundo, já há uma escassez de água; assim sendo, a reutilização de água de reuso não potável é muito importante neste processo, pois reduz a demanda por água potável, contribuindo com o meio-ambiente e gerando uma utilização racional e sustentável desta água.

Desta forma, o presente trabalho teve como propósito realizar um estudo de média de produção de água de condensado proveniente de ar-condicionado e desenvolver um projeto piloto de captação dessa água para que a mesma seja reaproveitada de maneira sustentável e racional. Para a realização desta pesquisa, foi desenvolvido um estudo baseado em pesquisas e referências bibliográficas, pesquisas de prédios sustentáveis com selos do Green Building e cálculos estimativos de quantidade de água de condensado, por meio de coleta de dados na sala 201 do prédio B da faculdade Uniritter, Campus de Canoas, com posição solar no Sul e com um equipamento do tipo cassete de 60.000Btu/h da marca Carrier. Também foram utilizados dois termômetros digitais com sensor externo, os quais foram colocados no insuflamento de ar e no retorno de ar do equipamento.

Após a coleta de dados na sala 201, foi utilizado um programa computacional de termodinâmica chamado *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, no qual foram inseridos os dados coletados no *software* para obter a umidade absoluta (w) e a taxa de condensação (kg água/kg ar). Obtendo esses dados, foi possível, por meio de equações da termodinâmica, comparar os resultados teóricos e práticos de água gerados por um equipamento com capacidade de 60.000Btu/h. Com os resultados obtidos e analisados, foi possível perceber a aproximação dos dados inseridos no *software* com àqueles coletados na prática por Santos et al. (2016) – volume de, aproximadamente, 7,8 litros por hora de água de condensado – e propor um projeto piloto para aproveitamento dessa água de condensado.

Para o projeto piloto de captação de água de condensado, primeiro foram analisados os quantitativos e parâmetros obtidos pelos experimentos de Carvalho; Cunha; Faria (2012), Cunha et al. (2014) e Nobrega (2015); em seguida, foi comparado o pH da água e, desta forma, foi possível destinar o uso adequado da água

proveniente do ar-condicionado para atividades como lavagem de pisos, veículos, descarga de bacias sanitárias, entre outros. Após ter selecionado o tipo de classe da água de condensado, foi realizado um cálculo de média mensal de água gerada pelo equipamento para realizar a seleção dos materiais necessários na execução do projeto piloto.

A proposta do projeto piloto para a captação da água de condensado consiste em tubulações de PVC, uma caixa d'água e uma bomba centrífuga. Para a seleção desses materiais, foram efetuados cálculos de dimensionamento. Ao término deste estudo, foi possível fazer uma estimativa de custos, utilizando uma média de preços praticada pelas empresas Cassol, Leroy Merlin e Schneider, com um custo final de R\$ 5.819,17 para execução deste projeto piloto na Uniritter, Campus de Canoas. Assim, conclui-se que o projeto de captação de água de condensado proveniente de ar-condicionado é viável, gerando uma economia para a universidade à medida que reduz a utilização de água potável e é sustentável ao meio ambiente.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função da indisponibilidade de algumas informações e do tempo para a conclusão deste trabalho, recomenda-se para trabalhos futuros a análise laboratorial da água captada do condensado proveniente de ar-condicionado, com o intuito de verificar os parâmetros e a possibilidade de maior reuso desta água. Além disso, sugere-se a captação de condensando em um prédio que demande maior quantidade de equipamentos de ar-condicionado e com modelos variados com o objetivo de verificar a viabilidade para reaproveitar a água de reuso proveniente de equipamentos de ar-condicionado com proporções maiores, como por exemplo, água para descarga em vasos sanitários e outras modalidades de uso, de acordo com os seus parâmetros.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Usos da água**. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>>. Acesso em set. 2022.
- ANA. **Resolução Conama n357, de 17 de março de 2005**. [s.l.: s.n.]. 2005. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em: set. 2022.
- ANTONOVICZ, D.; WEBER, R. G. B. **Plano de Manutenção Operação e Controle - nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.
- ARBOX. **A Água de ar condicionado pode ou não pode ser reaproveitada**. 2018. Disponível em: <https://www.arboxcaixas.com.br/blog_descricao/5/A-Agua-de-ar-condicionado-pode-ou-nao-pode-ser-reaproveitada>. Acesso em: set. 2022.
- ASHRAE. **American Society of Heating, Refrigeration and Ar-Conditioning Engineers**. Fundamentals Handbook. Chapter 6. Psychrometrics, 1997.
- ASHRAE. **American Society of Heating, Refrigeration and Ar-Conditioning Engineers**. Fundamentals Handbook. Chapter 6. Psychrometrics, 2001.
- ASHRAE. **Handbook**: Fundamentals SI Edition. 2001. Disponível em: <<https://sovathrothsama.files.wordpress.com/2016/03/ashrae-hvac-2001-fundamentals-handbook.pdf>>. Acesso em: set. 2022.
- ASHRAE. **Handbook**: Fundamentals SI Edition. Chapter 6. Psychrometrics, 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução normativa n131, de 10 de novembro de 2006**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/legislacao/2020/Instrucao_Normativa_131_de_10_de_novembro_de_2006_RET.pdf>. Acesso em: set. 2022.
- BRK AMBIENTAL. **Escassez de água**: entenda as principais causas da crise hídrica. Saneamento em Pauta. 2020. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/escassez-de-agua/>>. Acesso em: set. 2022. Campus de Bauru, Bauru, 2018.
- CARVALHO M. T. C.; CUNHA, S. O.; FARIA, R. P. P. G. **Caracterização quali-quantitativa da água da condensadora de aparelhos de ar-condicionado**. 2012. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/IX-002.pdf>> Acesso em: set. 2022

CASTRO, S. de S.; CHAVES, M, A. Software gráfico e analítico para a Carta Psicrométrica do ar. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 5, n. 2, p. 91-101, 2003.

CORREA, Y. **Dreno do Ar-Condicionado: O que é? Quais Problemas pode Ter?** 2012. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/dreno-ar-condicionado>>. Acesso em: set. 2022.

CUNHA, J. A. et al. **Quantificação e caracterização das águas de aparelhos de ar condicionados para uma proposta de reúso direto no IFCE - Campus Quixadá.** 2014. Disponível em: <http://www.ihab.org.br/o2015/trabalhos_completos/22.pdf>.

ELITECH. **TPM-10 termômetro digital -50 a 80°C.** [s.d.] Disponível em: <<https://www.elitechbrasil.com.br/tpm-10-termometro-digital-50-a-80c-preto.html>>. Acesso em: set. 2022.

FORGHIERI, A. **Alguns elementos naturais são tão imprescindíveis para a existência humana que, se faltassem, significaria.** 2021. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/%C3%A1gua-o-petr%C3%B3leo-azul-do-futuro-andres-forghieri>>. Acesso em: set. 2022.

FORTES, P.; COTRIM, P. ; JARDIM, F. **Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar condicionado.** 2015. In: Simpósio de Excelência em Gestão e tecnologia. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/37822430.pdf>>. Acesso em: set. 2022.

GBC BRASIL. **Revista GBC Brasil | 1a Edição | 2014** - GBC Brasil. GBC Brasil. Disponível em: <<https://www.gbcbrasil.org.br/revista-gbc-brasil-1a-edicao-2014/>>. Acesso em: set. 2022.

HAUPT, A.; KANE, T. T. **Population Handbook**, 4th ed. Washington, DC: Population Reference Bureau, 1997.

ICMBIO. **Resolução Conama nº20, de 18 de junho.** [s.l.: s.n.]. 1986. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br>>. Acesso em: set. 2022.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INSTRUSUL. **Principais parâmetros de qualidade da água.** 2019. Disponível em: <<https://blog.instrusul.com.br/principais-parametros-de-qualidade-da-agua/>>. Acesso em: set. 2022.

LAGES, A. E. **Parâmetros de qualidade da água: Guia da Engenharia.** 2018. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/parametros-qualidade-agua/>>. Acesso em: set. 2022.

LIMA, J. E. F. W. **Determinação e simulação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica do Cerrado**. 2000. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

MARTINELLI JUNIOR, L. C. **Refrigeração – UNIJUI**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi - RS, Brasil, 2003.

MILLER, R.; MILLER, M. **Ar-condicionado e Refrigeração**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MOURA, P. G. et al. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, p. 791–808, 2020.

NÓBREGA, J. M. S. **Água residual de condensadores de ar: perspectiva de substituição à água destilada para uso em laboratórios**. 2015. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2015.

NUNES, R. T. S. **Conservação da água em edifícios comerciais: Potencial de uso racional e reuso em shopping center**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, D. F.; MARTINS, J. C. **Metodologia para análise de escolha de sistemas de condicionamento de ar**. 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de graduação de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Uma em cada três pessoas em todo o mundo não tem acesso a água potável**. 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676671>>. Acesso em: set. 2022.

RIBEIRO, C. A. G. **Estudo da distribuição de temperaturas em ambientes condicionados por evaporador hi wall**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

RICHTER, C. A. **Água métodos e tecnologia de tratamento: métodos de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

RICHTER, C. A.; DE AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Blucher, 1991.

SABBATINI, J. **Qualidade da Água**. 2015. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/qualidade-da-agua/>>. Acesso em: set. 2022.

SANT'ANA, R. D.; MEDEIROS, P. B. L. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Réuso de Águas Cinzas em Edificações:** Padrões de qualidade, critérios de instalação e manutenção. [s.l.: s.n.]. 2017. Disponível em: <https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_2_padroes_qualidade.pdf>. Acesso em: set. 2022.

SANTOS, F. S. et al. **Desenvolvimento de um sistema de captação e uso de água de condensadores de ar para a faculdade multivix - Campus Nova Venécia.** 2016. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Capixaba de Nova Venécia, Nova Venécia, 2016.

SILVERIO, C. M. V. Avaliação de desempenho de edifícios sustentáveis: estudo de caso do centro administrativo Sicredi. **Cippus**, v. 7, n. 2, p. 15-27, 2019.

SMACNA. **Sistemas de ar condicionado:** Princípio Básico de Refrigeração. 2021. Disponível em: <<https://smacna.org.br/artigos-tecnicos/sistemas-de-ar-condicionado-principio-basico-de-refrigeracao/>>. Acesso em: set. 2022.

UNICEF. Fundo das Nações Unidas para a Infância. **Uma em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a OMS.** 2019. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>>. Acesso em: set. 2022.

VENANCIO, D. et al. **A crise hídrica e sua contextualização mundial.** Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 22, 2015.

VENTURA, M. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Revista da SOCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383–386, 2007.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede:** uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

WEBARCONDICIONADO. **Condensadora de ar-condicionado Redonda x Quadrada:** Qual a Diferença? 2020. Disponível em: <<https://www.webarcondicionado.com.br/condensadora-de-ar-condicionado-redonda-x-quadrada-qual-a-diferenca>>. Acesso em: set. 2022.

ZANCHETTA, T. C.; FERREIRA, D. H. L.; SUGARA, C. R. **Estações de Tratamento de Água:** Indicadores de Sustentabilidade. In: XVII Fórum Ambiental Alta Paulista. 2021. Disponível em: <<https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/9733/form4895282050.pdf>>. Acesso em: set. 2022.

ANEXOS

ANEXO A – Propriedades termofísicas de gases à pressão atmosférica, temperatura.

Tabela A-4 – Propriedades da água saturada (líquido e vapor), entrada de temperaturas

Temp. °C <i>T</i>	Sat. press. kPa <i>P_{sat}</i>	Specific volume m ³ /kg		Internal energy kJ/kg			Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/(kg · K)		
		Sat. liquid <i>v_f</i>	Sat. vapor <i>v_g</i>	Sat. liquid <i>u_f</i>	Evap. <i>u_{fg}</i>	Sat. vapor <i>u_g</i>	Sat. liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. vapor <i>h_g</i>	Sat. liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Sat. vapor <i>s_g</i>
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
Sat. press. MPa												
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 06	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.198 53	0.001 060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.194 05	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.174 09	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.156 54	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.141 05	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698