



**XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**  
São Paulo Expo - 10 a 13 de setembro de 2019

## **AVALIAÇÃO HOLÍSTICA DO CONSUMO DE ÁGUA EM SISTEMA DE AR CONDICIONADO E CRIAÇÃO DE NOVO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE BASEADO NO CONSUMO DE ÁGUA PARA CLIMATIZAÇÃO TWI (TOTAL WATER IMPACT).**

Alexandre Fernandes Santos, Pedro Gaspar Dinis, Heraldo José Lopes de Souza, Gustavo Nascimento Lira, Daiane Busanello

### **RESUMO**

O uso de energia para climatização de ambientes artificialmente condicionados está crescendo mais rapidamente do que qualquer outro uso final em edifícios, mais que triplicando entre 1990 e 2016. Este uso de energia para climatização advém de combinação de temperaturas mais elevadas, aumento da população e crescimento econômico. A demanda de energia para climatizar ambientes irá triplicar até 2050, consumindo mais energia que toda a Índia e China atualmente. Este aumento de energia irá impactar diretamente no consumo de água, seja para arrefecer um Chiller diretamente, seja para servir indiretamente como base para fontes de energia como hidrelétricas, que alimentam esses sistemas de climatização. Sabendo da importância singular e crescente da água, é apresentado um novo índice, Total Water Impact, TWI, que permite comparar de forma holística o impacto de utilização de água em sistemas de climatização com condensação a água, a ar e evaporativos.

Palavras-chave: AVAC. Condensador de refrigeração a água. Condensador refrigerado a ar. Evaporativo. TWI.

### **ABSTRACT**

The use of energy for space cooling is growing faster than for any other end use in buildings, more than tripling between 1990 and 2016, making it the fastest growing end-use in buildings, led by a combination of warmer temperatures and increased activity due to population and economic growth, and energy demand for space cooling will more than triple by 2050, consuming as much electricity as all of China and India today. This increase in energy will directly impact on water consumption either to cool a chiller directly, or to indirectly serve as a base for energy sources as well as hydroelectric power plants that power input these systems, knowing the unique importance of water will be created an index called TWI that will to holistically compare the impact of water on air-conditioning, water-to-air cooled and evaporative systems.

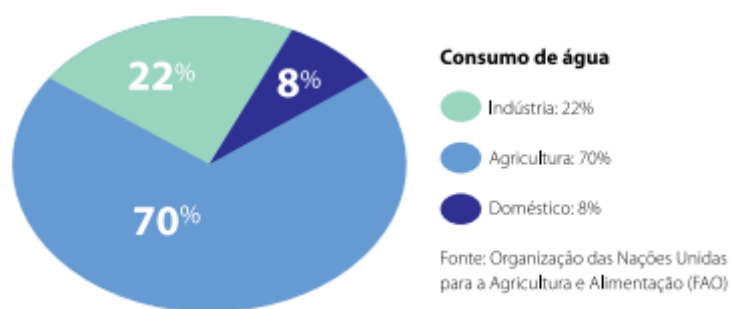
Keywords: HVAC, Water cooled condenser. air cooled condenser. Evaporative. TWI.

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo a WWF (World Wide Fund for Nature – Fundo Mundial para a Natureza), Existem mais de 326 milhões de trilhões de litros de água na terra.

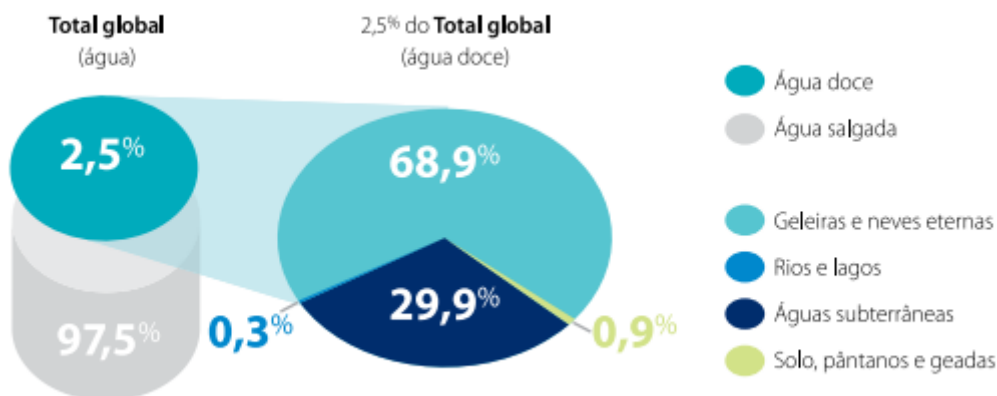
Menos de 3% de toda essa água é água doce e, dessa quantidade, mais de dois terços estão trancados em calotas polares e geleiras, ainda segundo o ministério de meio ambiente a água doce não está distribuída uniformemente pelo globo. Sua distribuição depende essencialmente dos ecossistemas que compõem o território de cada país. Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial.

Figura 1 – Consumo de água Mundial.



Fonte: UNESCO, 2019.

Figura 2 – Distribuição de água Mundial.



Fonte: UNESCO, 2019.

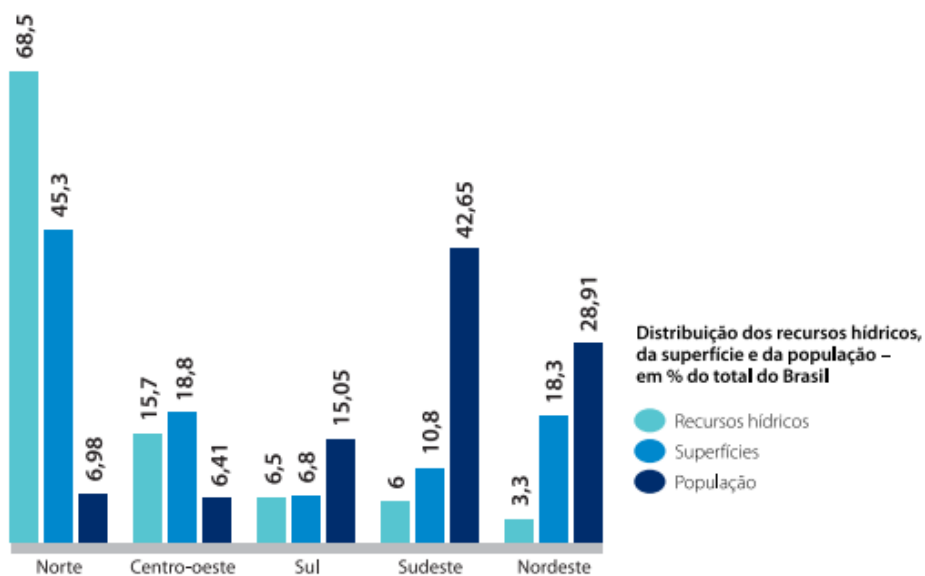
O consumo diário de água é muito variável ao redor do globo. Além da disponibilidade do local, o consumo médio de água está fortemente relacionado com o nível de desenvolvimento do país e com o nível de renda das pessoas. Uma pessoa necessita de, pelo menos, 40 litros de água por dia para beber, tomar banho, escovar os dentes, lavar as mãos, cozinhar etc. Dados da ONU, porém, apontam que um europeu, que tem em seu território 8% da água doce no mundo, consome em média 150 litros de água por dia. Já um indiano, consome 25 litros por dia.

Segundo estimativas da Unesco, se continuarmos com o ritmo atual de crescimento demográfico e não estabelecermos um consumo sustentável da água, em 2025 o consumo humano pode chegar a 90%, restando apenas 10% para os outros seres vivos do planeta.

O Brasil, com uma área de aproximadamente 8.514.876 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017) e mais de 190 milhões de habitantes, o Brasil é hoje o quinto país do mundo, tanto em extensão territorial como em população. Em função de suas dimensões continentais, o Brasil apresenta grandes contrastes relacionados não somente ao clima, vegetação original e topografia, mas também à distribuição da população e ao desenvolvimento econômico e social, entre outros fatores.

De maneira geral, o Brasil é um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos, pois abriga 13,7% da água doce do mundo. Porém, a disponibilidade desses recursos não é uniforme. Como demonstrado no quadro abaixo, mais de 73 % da água doce disponível no país encontra-se na bacia Amazônica,

Gráfico 1 – Distribuição de recursos hídricos das regiões do Brasil.



Fonte: SIH/ANEEL, 1999.

que é habitada por menos de 5% da população. Apenas 27 % dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para as demais regiões, onde residem 95% da população do país (Lima, 1999). Não só a disponibilidade de água não é uniforme, mas a oferta de água tratada reflete os contrastes no desenvolvimento dos Estados brasileiros. Enquanto na região Sudeste 87,5% dos domicílios são atendidos por rede de distribuição de água, no Nordeste a porcentagem é de apenas 58,7%.

O Brasil registra também elevado desperdício: de 20% a 60% da água tratada para consumo se perde na distribuição, dependendo das condições de conservação das redes de abastecimento. Além dessas perdas de água no

caminho entre as estações de tratamento e o consumidor, o desperdício também é grande nas nossas residências, envolvendo, por exemplo, o tempo necessário para tomarmos banho, a própria forma como tomamos banho, a utilização de descargas no vaso sanitário que consomem muita água, a lavagem da louça com água corrente, no uso da mangueira como vassoura na limpeza de calçadas, na lavagem de carros etc...

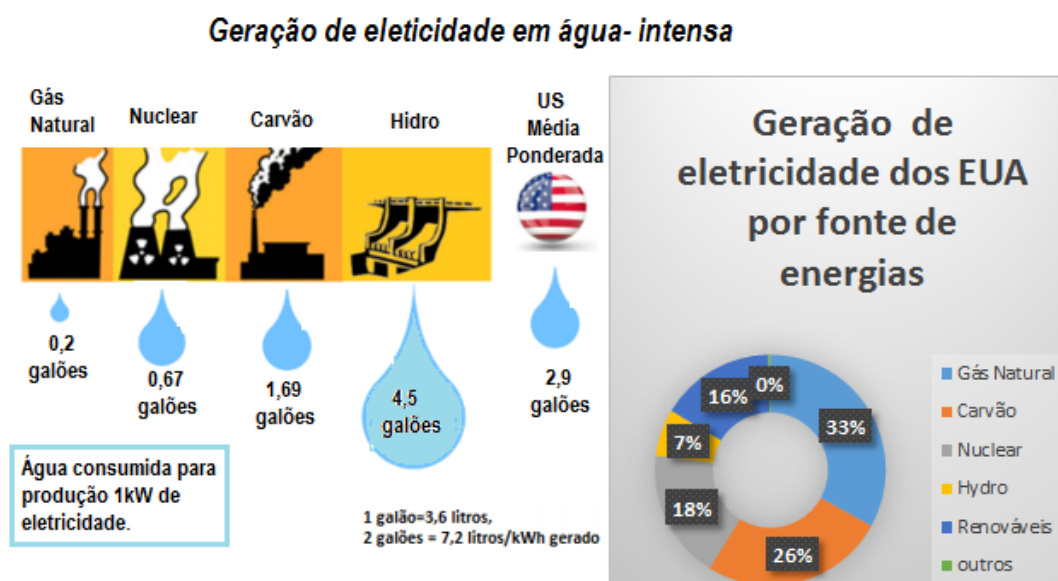
Segundo IEA (International Energy Agency), existem mais de 500 milhões de ar condicionados no mundo, e existem 2,8 bilhão de pessoas vivendo nas localizações mais quentes do mundo e apenas 8 % tem ar condicionado. Os números de equipamentos de ar condicionados irão saltar de 1,6 bilhões em 2018 para 5,6 bilhões em 2050, para isso serão vendidos 10 novos aparelhos de ar condicionados a cada segundo, a capacidade de alimentação elétrica para ar condicionado em 2050, será o equivalente a demanda elétrica dos EUA, da União Europeia e Japão hoje.

Devido a importância da eficiência energética e do uso da água nos sistemas de climatização, o objetivo deste artigo é gerar um balanço destes dois preciosos recursos (energia e água).

## 2 GERAÇÃO DE ENERGIA E CONSUMO DE ÁGUA BRASIL E EUA.

Devido estar presente em mais de 70% da biosfera, a água é um recurso essencial para plantas de geração de energias. Segundo National Renewable Energy Laboratory, tem-se os seguintes consumos de água por kWh gerado.

Gráfico 2 – Consumo de água para geração de 1kWh nos Estados Unidos (USA).



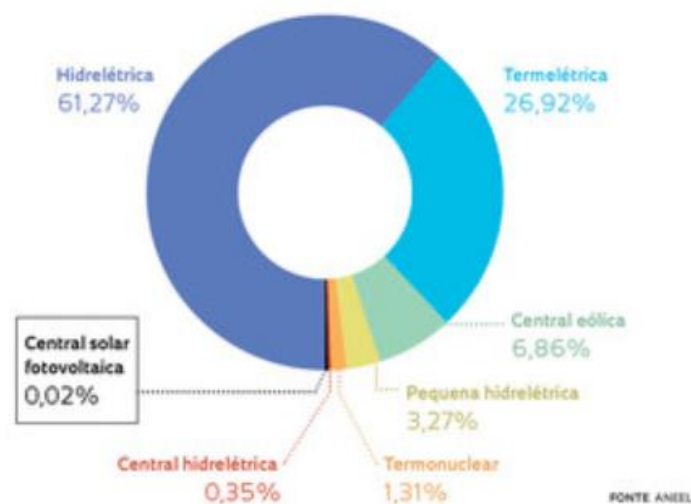
Fonte: National Renewable Energy Laboratory, 2019.

Já no Brasil, Segundo Aneel, a distribuição de geração de energia elétrica, tem a seguinte divisão:

Figura 3 – Matriz energética elétrica do Brasil.

## Matriz de energia elétrica

Participação de centrais solares na produção de eletricidade no Brasil ainda é pequena



Fonte: SIH/ANEEL, 1999.

Em forma mais resumida somando as pequenas hidrelétricas e centrais hidrelétricas, temos:

Tabela 1 – Tipos de geração Brasil.

Tipos de geração	Porcentagem
Hidrelétricas	64,89%
Termoelétrica	26,92%
Nuclear	1,31%
OUTROS (FOTOVOLTAÍCO+EÓLICO)	6,88%

Fonte: SIH/ANEEL, 1999.

Pela ausência de estudos da quantidade de água usada por kWh gerado em fontes de energia como, fotovoltaica e eólicas, mesmo sabendo que é necessário de água para limpar as placas fotovoltaicas e as hélices dos sistemas eólicos, será considerado o índice de 0 litros de água por kWh para essas fontes, com isso, temos:

**Litros de água por kWh gerado Brasil= ((% geração hidrelétrica · consumo de água por kWh hidrelétrica) + (% geração termoelétrica · consumo de água por kWh termoelétrica) + (% geração nuclear · consumo de água por kWh nuclear) + (% geração outros · consumo de água por kWh outros)).**

**Litros de água por kWh**

$$= ((0,6489 \cdot 16,2) + (0,2692 \cdot 2,49) + (0,0131 \cdot 2,412) + (0,0688 \cdot 0))$$

$$\text{Litros de água por kWh} = 11,215 \text{ L/kWh}$$

Devido ao alto índice de hidrelétricas no Brasil, o consumo de água por kWh gerado é quase 36% superior ao valor da média dos EUA.

**3 TWI – TOTAL WATER IMPACT.**

O índice TWI (total water impact) nada mais é que a quantidade de água de forma holística necessária para os equipamentos de ar condicionado no período de vida útil do equipamento, a forma holística é por que analisa além do consumo de água da Torre de Arrefecimento também o consumo de água para a energia dispendida no energia de alimentação elétrica.

Figura 4 – Energia- Água.



Fonte: Ashrae, 2015.

As interdependências entre os nossos sistemas de água e energia são claras e estão se tornando mais proeminentes, pois o desenvolvimento requer o uso de mais recursos, enquanto o uso excessivo e a mudança climática tornam alguns recursos mais escassos. No nível macro, a água é usada em todas as fases de produção de energia e geração de eletricidade (incluindo energias renováveis); e energia é necessária para extrair, transportar e fornecer água, e para tratar águas residuais antes de seu retorno ao meio ambiente. No nível micro, o vínculo água-energia é uma consideração importante para o HVAC

& R, comunidade na determinação de equipamentos e seleção de sistemas e design, bem como na operação de construção.

Um das formas inteligentes de analisar a eficiência energética de equipamentos de grande porte é o NPLV, especificamente o NPLV é derivado do IPLV, IPLV significa valor integrado de carga parcial e NPLV significa uma eficiência de carga não padrão. O IPLV ou NPLV é usado para avaliar a eficiência do chiller em diferentes condições de carga. As fórmulas de cálculo do IPLV e NPLV são as mesmas. A única diferença entre IPLV e NPLV é que o IPLV é calculado conforme a condição especificada em AHRI\_Standard\_550-590. Enquanto em NPLV é calculado conforme a condição do local onde o equipamento é instalado.

Especificamente a fórmula do TWI simplificado é:

$$TWI = (((Carga\ térmica\ anual\ TR) \cdot (**NPLV\ em\ kW/TR) \cdot (Vida\ útil\ equipamento\ em\ anos) \cdot (Índice\ de\ m^3/kWh\ gerado\ da\ região)) + ((Carga\ térmica\ anual\ TR) \cdot (Vida\ útil\ equipamento\ em\ anos) \cdot (água\ usada\ por\ TR\ em\ m^3/h)))$$

\*\* Este NPLV deve possuir a soma rateada por TR da Bomba de Condensação e do Ventilador da Torre.

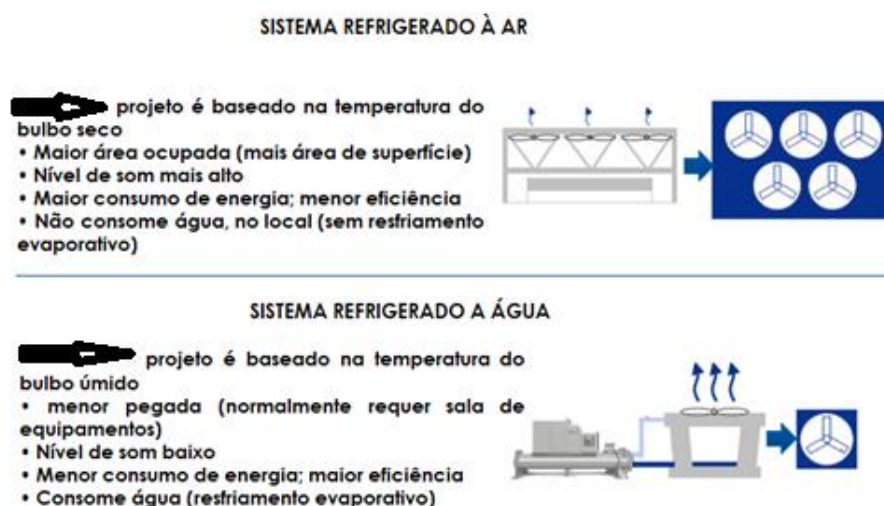
O resultado será o impacto total de uso de água de forma holística do período de vida útil do sistema.

#### 4.0 COMPARAÇÃO DE CONDENSAÇÃO A ÁGUA E A AR

Para usar como exemplo será comparado um sistema condensação a ar e à água para uma capacidade total de 200 TR com as seguintes características, foi feita uma simulação entre chiller condensação a ar nacional e chiller condensação à água importado:

Figura 5 – Comparativo refrigeração a água e a ar.

#### REFRIGERAÇÃO -AR vs. REFRIGERAÇÃO-ÁGUA CALOR REJEITADO





CONBRAVA 2019 – São Paulo Expo, 10 a 13 de Setembro de 2019 - São Paulo, Brasil

Fonte: Ashrae, 2016.

Tabela 2 – Parâmetros dos sistemas de 200 TR.

Parametro	condensação a água	condensação a ar
Chiller eficiencia carga plena (kW/TR)	0,65	1,4
Chiller eficiencia carga parcial NPLV (kW/TR)	0,36	1,06
Capacidade Total do Sistema TR	200	200
Carga Térmica média anual TR	150	150
Bomba de condensação kWinput	6,2664	0
Ventilador da Torre kWinput	4,1776	0
Horas de Operação no ano	4380	4380
Carga Térmica anual TR	657000	657000
Índice de água por kWh gerado região	0,011215	0,011215
Índice de consumo de água/TR, Torre (m <sup>3</sup> /TR)	0,0072	0
TWI	116516,1311	117155,2545

Fonte: Autoria dos autores, 2019.

Neste caso o TWI para cada opção (condensação a água e ar), fica:

**TWI = (((Carga térmica anual TR). \*(NPLV em kW/TR).(Vida útil equipamento em anos).(Índice de m<sup>3</sup>/kWh gerado da região)))+(Carga térmica anual TR).(Vida útil equipamento em anos).(água usada por TR em m<sup>3</sup>/h)))**

TWI condensação a água= (((657000 TR).(0,41 kW/TR).(15).(0,011215 m<sup>3</sup>/kWh)))+(657000 TR).(15).(0,0072 m<sup>3</sup>/TR)))

TWI condensação a água = 116516,13 m<sup>3</sup>

TWI condensação a ar= (((657000 TR).(1,06 kW/TR).(15).(0,011215 m<sup>3</sup>/kWh)))+(657000 TR).(15).(0 m<sup>3</sup>/TR)))

TWI condensação a ar = 117155,25 m<sup>3</sup>

Para usar como outro exemplo será comparado um sistema condensação a ar e à água para uma capacidade total de 500 TR, com NPLV ASHRAE 90.1 de 2013, com as seguintes características:

Tabela 3 – Parâmetros dos sistemas de 500 TR.

Parametro	condensação a água	condensação a ar
Chiller eficiencia carga plena (kW/TR)*	0,585	1,237
Chiller eficiencia carga parcial NPLV (kW/TR)*	0,38	0,745
Capacidade Total do Sistema TR	500	500
Carga Térmica média anual TR	290	290
Bomba de condensação kWinput	15,666	0
Ventilador da Torre kWinput	10,444	0
Horas de Operação no ano	4380	4380
Carga Térmica anual TR	1270200	1270200
Índice de água por kWh gerado região	0,011215	0,011215
Índice de consumo de água/TR, Torre (m <sup>3</sup> /TR)	0,0072	0
TWI	229538,1081	159191,1493

Fonte: Aatoria dos autores, 2019.

\*Eficiência baseada na ASHRAE 90.1-2013, especificamente neste caso IPLV=NPLV por não se tratar de uma cidade em específico.

Neste caso o TWI para cada opção (condensação a água e ar), fica:

Tanto sistemas de condensação a ar ou a água com capacidades de 200 TR ou 500 TR, o consumo de água por kWh gerado, e o índice de consumo de água/TR, Torre (m<sup>3</sup>/TR), são os mesmos valores.

Utilizando o cálculo do TWI, que procura compreender o consumo de água holística, que mostra a necessidade para os equipamentos de ar condicionado no período da vida útil dos equipamentos.

Verificando os resultados do TWI nas duas tabelas, especificamente na comparação hipotética dos sistemas de 200 TR a água (Importado) e a ar (nacional), o índice TWI foi menor no sistema do tipo condensação à água, ou seja, de forma holística o consumo de água foi maior em sistema condensação à água que a ar .

No sistema 500 TR, conforme a ASHRAE 90.1 de 2013, chiller com condensação a ar e condensação a água, o maior índice de TWI foi no chiller condensação a água.

É compreensível que os projetistas estejam preocupados com a eficiência do chiller. Vários fatores, como, manutenção deficiente, mau funcionamento, dimensionamento inadequado etc. afetam essa eficiência. As partes interessadas na indústria sabem que qualquer coisa que melhore qualquer aspecto da eficiência do resfriador pode ter um impacto enorme, já no caso de 500 TR onde foram usados a Ashrae 90.1 de 2013 como fonte de NPLV o índice TWI foi menor no chiller condensação a ar.

À medida que novos padrões surgem, a eficiência do chiller está se tornando cada vez mais importante, chillers de mancal magnético condensação à água em locais de temperaturas amenas possuem baiximo NPLV levando certamente a índices TWI futuros menores que chillers condensação a ar. Concentrando-se na ARI, um dos padrões mais notáveis que vem deles é a

classificação NPLV (*Non-standard Part Load Value*). Não é um padrão novo, considerando que surgiu pela primeira vez em 1988. No entanto, o rating é alto entre os novos por causa de sua melhoria contínua para um escopo mais amplo e mais preciso.

## 5.0 CONCLUSÃO

Com o índice TWI é possível obter uma visão holística do consumo de água no espaço de tempo, com essa metodologia pode-se observar que algumas vezes um sistema condensação à a ar tenha uma maior consumo de água que condensação à água.

O percentual de pessoas que pensam que o sistema de condensação a ar, não gasta água alguma não é verdade.

Ainda não foi considerado consumo de água para limpar a serpentina do condensador a ar (até por que a limpeza do condensador à água é usado varetagem) e não foi incluída água de limpeza das fontes eólicas e solares de energia por ainda não termos esse valor disponível.

Foram usados dois exemplos simples, mas os valores de NPLV de sistemas com compressores de mancal magnético em chillers condensação à água estão cada vez diminuindo.

A mesma metodologia pode ser usada em VRF condensação à água a a ar. Em trabalhos futuros poderá ser simulado sistemas com geotérmico e drycoolers para o TWI.

Entre os indicadores para escolher o melhor sistema de refrigeração e até mesmo para sistemas LEED o TWI poderá ser um indicador de qualidade.

Também pode ser considerado um TWI pro rata por TR (resultado dividido pela carga térmica no período de vida útil) para as tomadas de decisão.

## REFERÊNCIAS

AHRI\_Standard\_550-590. Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle. 2015.

ASHRAE. ASHRAE ENERGY WATER NEXUS – Denver. 2019.

ASHRAE/ANSI/IES Standard 90.1-2016 -- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. 2016.

IBGE. Anuário estatístico. Instituto Brasileiros de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro. 2017.

IEA. Estatísticas. Disponível em <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES> Acessado em 2019.

NREL. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <https://www.nrel.gov/> Acessado em 2019.

CONBRAVA 2019 – São Paulo Expo, 10 a 13 de Setembro de 2019 - São Paulo, Brasil

ONU. Consumo de água mundial. Disponível em <https://nacoesunidas.org/acao/agua/> Acessado em 2019.

SIH/ANEEL. Resolução técnica 394 de 4 de dezembro de 1998. Agência Nacional de Energia Elétrica.

UNESCO. Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). Disponível em <http://ihp-wins.unesco.org/> Acessado em 2019.

WWF. Programa Hidrológico mundial. Disponível em [https://www.wwf.org.br/wwf\\_brasil/wwf\\_mundo/](https://www.wwf.org.br/wwf_brasil/wwf_mundo/) Acessado 2019.