



XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo - 23 a 25 de novembro de 2021

ÍNDICES NATURAIS PARA TOMADA DE DECISÃO SOBRE SELEÇÃO DO SISTEMA DE AVAC DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES AMBIENTAIS E COMPARAÇÃO COM PDD (PERFECT DESIGN DATACENTER)

PAPER XX

RESUMO

O segmento global de ar-condicionado movimentará o montante de US\$ 167 bilhões até 2024, independentemente da marca e dos modelos de equipamentos. Além dos sistemas tradicionais de ar-condicionado, há também o crescimento de sistemas alternativos aos tradicionais baseados no ciclo de compressão de vapor, como sistemas evaporativos, resfriamento livre e sistemas geotérmicos. Este artigo cria um diagrama baseado em 4 elementos naturais: terra, fogo, ar e água para selecionar a tecnologia AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) mais adequada. Além disso, desenvolve-se uma correlação com base em psicometria e COP (Coeficiente de desempenho) para a tomada de decisão sobre o melhor sistema de VAC de acordo com as condições ambientais. Os resultados mostram que o COP com sistema híbrido, inclusive geotérmico EUED (Energy Usage Effectiveness Design) é um valor de 16,119 kW/kW em Curitiba, um excelente valor de eficiência operacional, facilitando o mapeamento das possibilidades geotérmicas, usando o diagrama dos 4 elementos na tomada de decisão, úteis para decidir a melhor cidade onde constituir uma empresa, construindo com maior eficiência energética dentro das normas nacionais e internacionais, reduzindo consumo de energia com ar-condicionado.

Palavras-chave: EUED; Free Cooling; Geotérmica; Coeficiente de operação.

ABSTRACT

The global air conditioning segment will generate an amount of US \$ 167 billion by 2024, regardless of the brand and models of equipment. In addition to traditional air conditioning systems, there is also the growth of alternative systems to traditional ones based on the vapor compression cycle, such as evaporative systems, free cooling and geothermal systems. This article creates a diagram based on 4 natural elements: earth, fire, air and water to select the most suitable HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) technology. In addition, a correlation is developed based on psychrometry and COP (Coefficient Of Performance) for decision making on the best VAC system according to environmental conditions. The results show that the COP with hybrid system, including EUED geothermal (Energy Usage Effectiveness Design) is a value of 16.119 kW/kW in Curitiba, an excellent value for operational efficiency, facilitating the mapping of geothermal possibilities, using the diagram of the 4 elements in decision making, useful for deciding the best city to set up a company in, building with greater energy efficiency within national and international standards, reducing energy consumption with air conditioning.

Keywords: EUED; Free Cooling; Geothermal; Operation coefficient.

1 INTRODUÇÃO

Em um país tropical como o Brasil, o ar-condicionado é essencial, da mesma forma, em outros países, devido às necessidades de conforto térmico da sociedade e aos requisitos de operação dos processos, os sistemas de ar-condicionado são necessários em todos os lugares. Há aplicações de ar-condicionado em Hotéis, Prédios Comerciais, Aeroportos, Museus, Hospitais, Datacenters, Shopping Centers, Aplicações Industriais, Escolas, Cinemas, Supermercados e Igrejas.

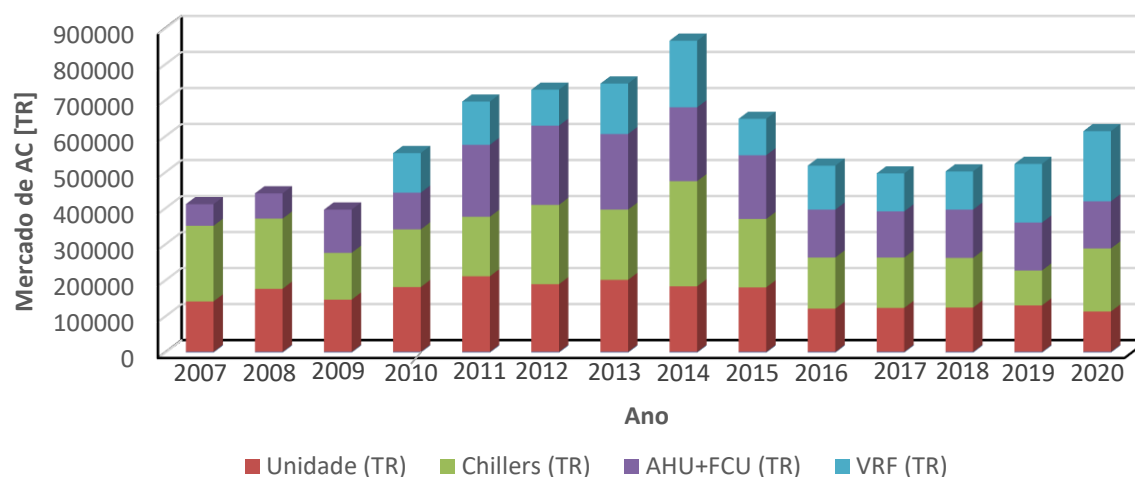
A ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração e Ar-Condicionado) inclui os principais fabricantes de ar-condicionado. Esta associação participa das principais pesquisas científicas e trabalhos brasileiros desenvolvidos neste tema.

Segundo a ABRAVA, o mercado central de ar-condicionado brasileiro (em toneladas de refrigeração, TR) tem a evolução dos últimos 20 anos mostrada na Figura 1 (ABRAVA, 2018).

A crescente demanda por condicionadores de ar é um dos pontos mais críticos no debate energético atual. Estabelecer padrões de eficiência mais elevados para o resfriamento é um dos passos mais fáceis que os governos podem tomar para reduzir a necessidade de novas usinas, reduzir as emissões e reduzir custos ao mesmo tempo.

Até 2050, cerca de 2/3 das famílias do mundo poderiam ter um ar-condicionado. China, Índia e Indonésia responderão juntos por metade do número total (IEA, 2020).

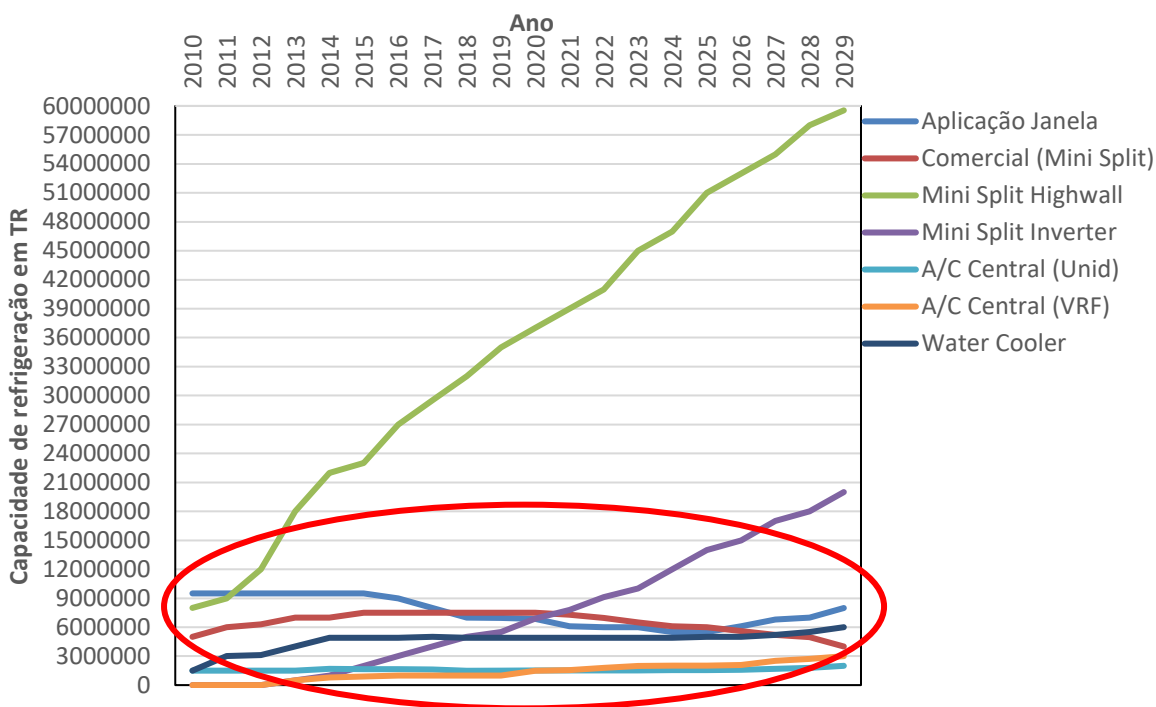
Figura 1– Mercado de ar-condicionado.



Fonte: ABRAVA, 2018.

O número instalado de equipamentos está crescendo em um momento de crise financeira, como mostra o gráfico ABRAVA da Figura 2.

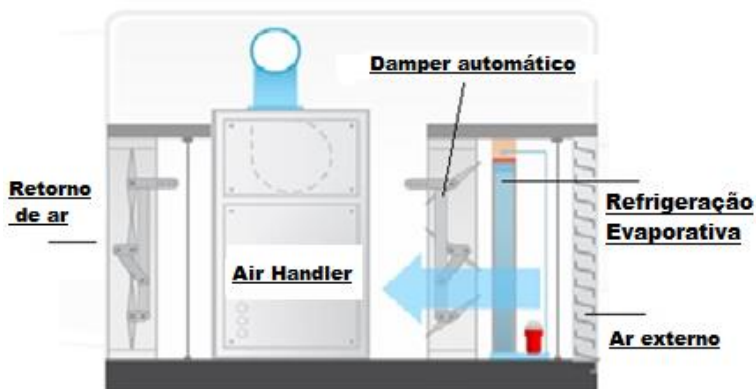
Figura 2 – Instalação A/C no Brasil em TR.



Fonte: ABRAVA, 2018.

A solução tecnológica do sistema evaporativo é adequada quando a temperatura de bulbo úmido é baixa. Assim, este tipo de sistema busca aproximar o valor da temperatura de bulbo seco ao valor da temperatura de bulbo úmido, especificamente a Figura 3, trata-se de um sistema híbrido de ar-condicionado convencional com sistema evaporativo Free Cooling e automação com dampers automáticos.

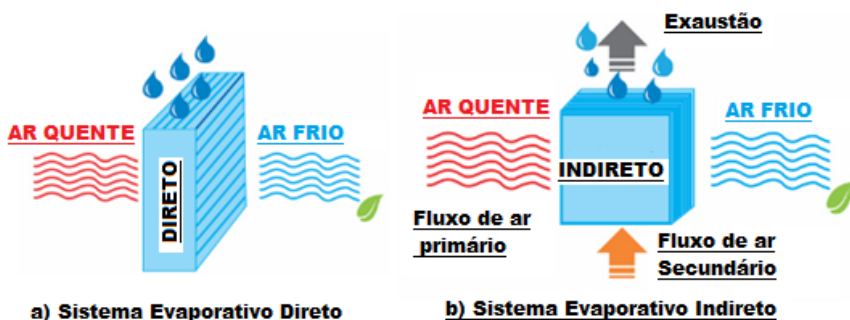
Figura 3 - Exemplo do diagrama do sistema evaporativo (temperatura externa do ar entre 16°C e 25°C ou entalpia abaixo de 12,5 kcal/kg).



Os sistemas evaporativos são divididos em sistemas diretos e indiretos, como mostrado na Figura 4. Em sistemas evaporativos diretos, a água é evaporada

no contato com o fluxo de ar e existe acréscimo de umidade absoluta no insuflamento. Em sistemas evaporativos indiretos, a água evaporada é usada para resfriar a circulação de ar forma indireta, sem acréscimo de umidade absoluta no insuflamento. Na Eurovent os equipamentos evaporativos diretos têm a sigla DEC (Direct Evaporative Cooling) e o indireto é IEC (Indirect Evaporative Cooling) (EUROVENT, 2021).

Figura 4 - Exemplo de sistemas evaporativos Direto e Indireto, adaptado.



Fonte: ATEGROUP, 2020.

Um resfriador evaporativo em um clima seco é mais eficiente do que uma unidade de ar-condicionado tradicional. Na verdade, a Comissão de Energia da Califórnia afirma que os resfriadores evaporativos podem usar 75% menos energia do que o ar-condicionado. Esses resfriadores também são menos caros de instalar em muitos casos quase metade do custo de uma unidade de ar-condicionado, e alguns são alimentados apenas por energia solar. Enquanto uma unidade de ar-condicionado recircula o mesmo ar em ciclo fechado, os resfriadores evaporativos trazem ar fresco, o que é muito mais saudável (TERRA, 2009).

O número de sistemas de resfriamento evaporativo instalados aumentou em todo o mundo devido às suas vantagens em relação aos sistemas convencionais, uma vez que este sistema tem um enorme potencial de uso, apesar de certa limitação em seu desempenho, exigindo uma análise mais rigorosa (ZAPATERRA, 2014).

O processo de resfriamento só é possível graças à interação entre transferência de calor e transferência de massa. A água absorve o calor do ar durante a evaporação e o calor é removido do vapor de condensação. O contato livre e prolongado entre água e ar resulta em um estado de equilíbrio no qual normalmente o ar será saturado, quanto maior a quantidade de vapor no ar necessário para saturar.

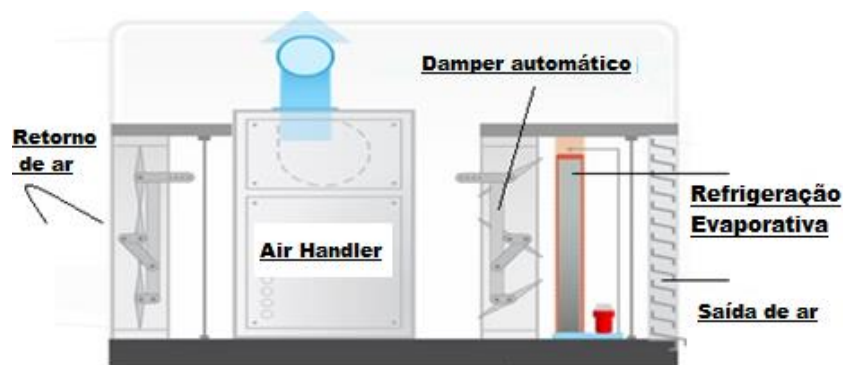
A função da aplicação do sistema de resfriamento evaporativo é fazer com que a evaporação ocorra de forma controlada, a fim de obter resultados que produzam efeitos em termos de resfriamento, umidificação e consequente melhoria na qualidade do ar ambiente. Chegar ao ponto de orvalho, neste caso, seria o limite do princípio evaporativo (associando em cascata

evaporativo indireto e direto), pois neste momento a ocorrência de evaporação termina. Por outro lado, quanto menor a umidade relativa, mais rápida ocorre a evaporação e maior o grau de resfriamento que pode ser alcançado (TERRA, 2009).

O resfriamento evaporativo é uma técnica muito conhecida, que proporciona bons resultados de resfriamento e é usada em muitas aplicações, desde os edifícios residenciais, comerciais, agrícolas e institucionais até aplicações industriais como resfriamento pontual em usinas, fundições e ambientes amigáveis, pois usa apenas energia natural como calor latente de água. A eficiência e eficácia do resfriamento evaporativo depende das condições climáticas circundantes (Chaudhari et al, 2015).

Há também tecnologias associadas ao ar-condicionado tradicional, como o Free Cooling. Nesta tecnologia, o ar externo é inserido internamente para resfriar a sala e uma extração é ativada para descarregar o calor, mas sempre mantendo uma equação positiva entre a entrada de ar e a saída. Um exemplo do equipamento e do funcionamento do sistema de Free Cooling é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo do diagrama do sistema de Free Cooling (Temperatura de ar externa entre 10°C e 16°C).



Os sistemas de ar-condicionado e resfriamento são responsáveis por cerca de 40% do uso total de eletricidade em data centers. O Free Cooling é uma tecnologia promissora que pode diminuir a relação de carga do resfriador elétrico e economizar o consumo de energia de resfriamento em conformidade, através do uso pleno da fonte de Free Cooling natural (Zhang et al, 2017).

Alternativas geotérmicas também são uma opção aos sistemas convencionais. De acordo com Egg & Howard, a palavra "geotérmica" vem do grego "geo" (terra) e "termos" (calor) e é aplicada ao uso de calor do solo. Há basicamente duas aplicações energéticas de calor geotérmico. Uma delas é a geração de eletricidade, tipicamente mantida em sistemas de grande geração em que a água é introduzida no solo de áreas geotérmicas de alta temperatura, gerando vapor para conduzir turbinas e gerar força eletromotriz. Tais instalações só existem em locais com alta atividade

geotérmica, como alguns países asiáticos e europeus. Nas Filipinas, por exemplo, a energia geotérmica é responsável por 8.900 MW e representa 25% da energia elétrica gerada (EGG, 2009). A segunda maneira de usar energia geotérmica consiste no uso da temperatura em valor constante abaixo da superfície da Terra em Bombas de Calor Geotérmicas (GHP). A fonte de calor geotérmica favorece o aumento da eficiência energética e pode ser usada em sistemas de resfriamento de edifícios urbanos, com uma economia de energia variando de 70% a 140% no inverno, em comparação com bombas de calor de ar (USDOE, 2013). De acordo com o EERE (Energy Efficiency & Renewable Energy) (EERE, 2009; EERE, 2014), agência vinculada ao Departamento de Energia, uma fonte de calor geotérmico é um mecanismo eficaz para eficiência energética e pode ser usada em sistemas de resfriamento de edifícios urbanos, bombas de calor geotérmicas (fonte de terra ou fonte de água) alcançando maior eficiência, transferindo calor entre uma casa e o solo ou uma fonte de água próxima. Bombas de calor são dispositivos com operação simples e bom desempenho térmico, características que indicam um grande potencial no mercado de ar-condicionado. Embora apresentem um custo mais alto para instalar, as bombas de calor geotérmicas têm baixos custos operacionais porque aproveitam as temperaturas relativamente constantes do solo ou da água. As bombas de calor geotérmicas (ou fonte de terra) têm algumas grandes vantagens. Eles podem reduzir o uso de energia em 30% a 60%, em comparação com os sistemas convencionais de ar-condicionado e refrigeração (EERE, 2009). Por exemplo, no estado do Paraná, as temperaturas do ar ao ar livre no inverno e verão versus temperatura geotérmica a 2 metros abaixo do nível do solo são mostradas na Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente, para várias cidades. A Tabela 1 mostra os dados de temperatura do verão/inverno para o estado do Paraná e a Tabela 2 também mostra as temperaturas de verão/inverno, mas as temperaturas geotérmicas para o estado do Paraná – Brasil (Santos et al, 2016).

Tabela 1 - Temperatura externa máxima do verão e inverno mínimo para várias cidades do estado do Paraná.

LUGAR/Cidades	$T_{\text{verão}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{inverno}} (^{\circ}\text{C})$
Cascavel	35,1	3,4
Curitiba	30,9	2,4
Foz do Iguaçu	35,1	3,4
Guaratuba	33,0	7,5
Ipanema	33,0	7,5
Londrina	33,9	7,2
Maringá	33,9	7,2
Pinhais	30,9	2,4
Ponta Grossa	32,0	2,1
Toledo	34,9	2,4

Fonte: Santos et al, 2016.

Tabela 2 - Valores de temperaturas geotérmicas de verão e inverno para várias cidades do estado do Paraná.

LUGAR/Cidades	$T_{\text{verão}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{inverno}} (^{\circ}\text{C})$
Cascavel	22,9	16,0
Curitiba	22,1	18,1
Foz do Iguaçu	23,0	17,7
Guaratuba	22,9	18,2
Ipanema	23,0	18,3
Londrina	24,0	16,2
Maringá	23,0	17,9
Pinhais	20,9	17,0
Ponta Grossa	21,1	18,0
Toledo	23,0	17,7

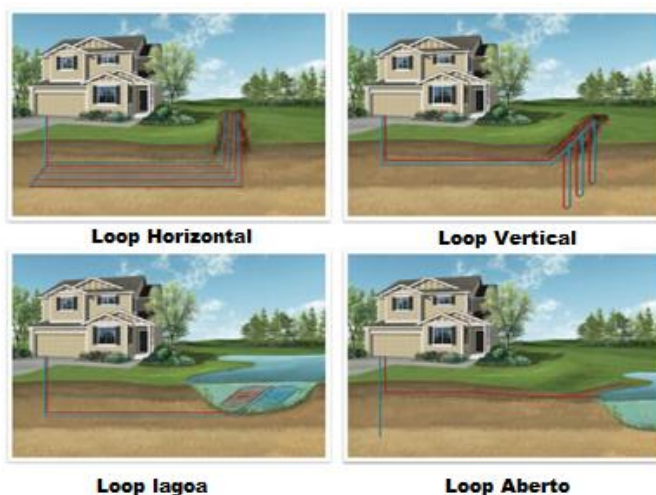
Fonte: Santos et al, 2016.

A economia de energia nos data centers usando sistemas de fontes de calor geotérmicas provavelmente será maior, uma vez que para uma temperatura abaixo de 16°C , um sistema de ar-condicionado geotérmico direto pode ser implementado. Os sistemas geotérmicos são divididos em: Loop verticais; Loop horizontais; loop lagoas e lagos, loop aberto, como mostrado na Figura 6 (Pointheating, 2020).

- Loop Vertical: Este sistema requer menos espaço, mas eles são maiores em comprimento e estão enterrados no fundo do chão. Eles são usados para vários andares de conjuntos habitacionais, escolas e grandes edifícios comerciais. Para o sistema vertical, os buracos, com aproximadamente 4 polegadas de diâmetro, são perfurados a cerca de 6 metros de distância e de 100 a 400 metros de profundidade. Nestes orifícios, há dois tubos conectados na parte inferior com uma forma de U para formar um loop. As alças verticais são conectadas a um tubo horizontal (coletor), colocado em valas e conectados à bomba de calor do edifício. Eles são mais caros.
- Loop Horizontal: Esta instalação é mais econômica, ocupa mais espaço em largura do que o sistema vertical e mais na superfície do subsolo. O layout de instalação mais comum utiliza dois tubos, um enterrado a dois metros e o outro a quatro metros, ou dois tubos colocados lado a lado a cinco metros no chão, em uma vala de dois metros de largura. Deve-se garantir que haja espaço suficiente disponível para sua instalação. Nas instalações do subúrbio, são os sistemas mais viáveis.
- Loop de lagoas e lagos: Este sistema requer uma fonte de água próxima à sua instalação. Os canos subterrâneos vêm do prédio para a água. Os tubos são na forma de bobinas concêntricas para que a água não congele. As bobinas devem ser colocadas apenas em uma fonte de água que atenda aos critérios mínimos de volume, profundidade e qualidade.

- Loop Aberto: este sistema precisa de um suprimento contínuo de água limpa que possa ser usado para absorver o calor da água abaixo do solo. Portanto, corpos d'água são utilizados para a troca de calor entre fluidos. Esta opção é obviamente prática apenas quando há um fornecimento adequado de água relativamente limpa e todos os códigos e regulamentos locais relacionados à descarga de águas subterrâneas são cumpridos.

Figura 6 - Exemplo de tipos de sistemas geotérmicos.



Fonte: Pointheating, 2020.

Apesar da importância do ar-condicionado, e de tantos sistemas alternativos e/ou complementares, a questão é desenvolver um diagrama que possa ajudar na tomada de decisão de qual sistema alternativo é instável escolher, de acordo com as características das cidades.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal objetivo conta com a geração de tabelas dos novos índices de desempenho térmico e eficiência energética. Os quatro elementos naturais utilizados como base para a definição da melhor solução para o ar-condicionado são baseados em conhecimentos antigos (Figuras 7-8). Empédocles (490 - 430 a.C.), por outro lado, ensinou que tudo é formado por 4 "princípios": terra, água, fogo e ar. Este modelo foi reformulado e defendido por Aristóteles, talvez o maior e mais influente pensador da história ocidental. Platão renomeou os quatro elementos principais e Aristóteles usou esse termo. Cada elemento é caracterizado por duas propriedades dos opostos naturais, quente-frio e seco (Rooney, 2013).

Figura 7 - Quatro elementos naturais: terra, água, fogo e ar.

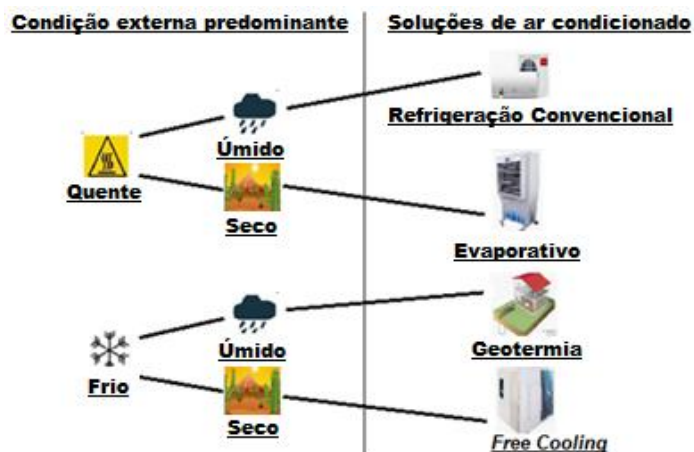


Figura 8 - Ábaco envolvendo os quatro elementos: terra, água, fogo e ar.



Com base nesses princípios, foi elaborado um diagrama de soluções tecnológicas compatíveis com as características do clima, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Condições e soluções para ar-condicionado.

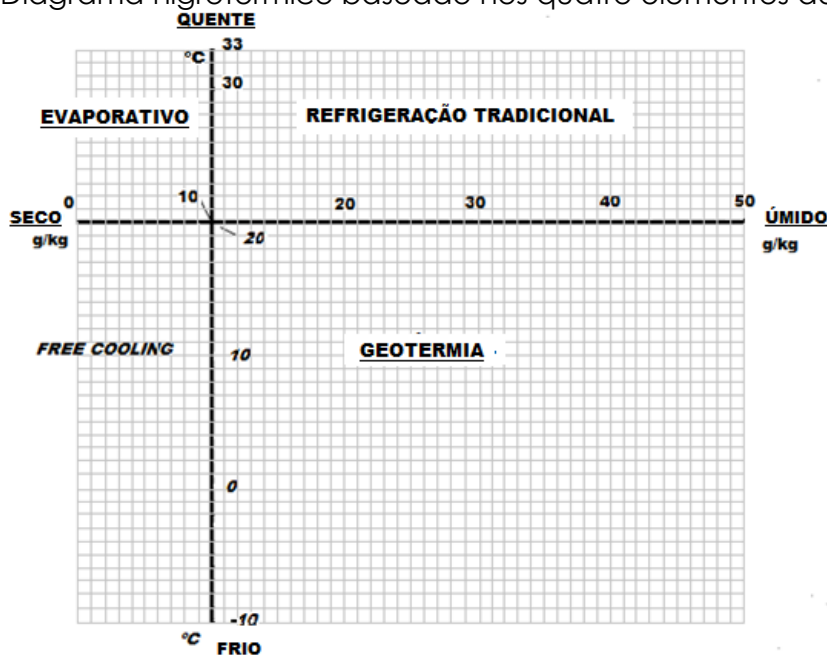


Das Figuras 7 e 8, foi desenvolvida a Tabela 3. Esses resultados podem ser propostos na forma de um diagrama (Figura 10) que se refere às soluções predominantes quanto às características do ar externo, ou seja, o diagrama de decisão higrotérmico baseado nos quatro elementos de Aristóteles.

Tabela 3 Tabela dos quatro elementos higrotérmico da tomada de decisão.

Temperatura do ar (°C)	Umidade Absoluta (g/kg)	Condição de calor genérica	Condição higroscópica genérica	Solução AVAC
Acima de 20°C	Acima de 10 g/kg	Quente	Úmido	Resfriamento tradicional
	Abaixo de 10 g/kg		Seco	Sistema Evaporativo
Abaixo de 20°C	Acima de 10 g/kg	Frio	Úmido	Sistema Geotérmico
	Abaixo de 10 g/kg		Seco	Free Cooling

Figura 10 - Diagrama higrotérmico baseado nos quatro elementos de Aristóteles.



Como pode ser visto na Tabela 3 a partir do diagrama na Figura 10, pode-se notar que:

- 1) Em clima quente e úmido, a melhor solução é a refrigeração. O ciclo de compressão com temperatura abaixo do ponto de orvalho é o contraponto direto à alta temperatura e umidade absoluta.
- 2) No clima quente e seco, a melhor solução é o sistema evaporativo. O sistema evaporativo é o contraponto direto à alta temperatura e baixa umidade.

- 3) No clima frio e úmido, a melhor situação é o sistema geotérmico. Especificamente, nesta situação há um limite de umidade em um data center de até 80%, e há necessidade de desumidificação da refrigeração. É importante ressaltar que os climas chuvosos facilitam a troca de calor geotérmico, pois possuem maior inércia térmica facilitando a troca de calor. Este é o exemplo da cidade de Curitiba que tem clima temperado e bom índice de chuvas. A classificação de Köppen e Geiger (Rooney, 2013) é CFB (clima oceânico temperado), com temperatura média de 17,1°C. Em Curitiba, neste caso é frio e úmido o que é muito bom para sistemas geotérmicos. "As bombas de calor geotérmicas de loop fechado funcionam melhor em condições de solo úmido, pois melhora a transferência de calor entre o solo e a tubulação de água. Áreas mal drenadas podem fornecer adicionais as tubulações com loop horizontal".
- 4) No clima frio e seco, a melhor solução é o Free Cooling, pois tem todas as características interessantes de temperatura e umidade a serem implementadas em um Datacenter por exemplo.

De acordo com o ASHRAE WEATHER Viewer, uma cidade como Curitiba pode ter momentos em qualquer uma das áreas do gráfico na Figura 10 (ASHRAE, 2016).

Como solução, há a métrica EUED (Energy Usage Effectiveness Design) que utiliza os valores anuais da temperatura de bulbo seco associada à coincidente temperatura de bulbo úmido (dados do ASHRAE Weather Data Viewer, mesma fonte para basear o método ASHRAE), classificado como (ASHRAE, 2016):

- Free Cooling - Sistema que permite usar as características entalpia do ar externo para aclimatar uma sala.
- Resfriamento adiabático direto ou indireto, que consiste em resfriar o ar ambiente usando a temperatura de bulbo úmido.
- Sistema de condensação geotérmica (fonte de terra) como opção de banho térmico para condensar o fluido refrigerante.
- COP - Coeficiente de desempenho, que é utilizado para avaliar a relação entre as capacidades de resfriamento obtidas e o trabalho gasto para obtê-lo.

Com base em uma temperatura média de insulamento de 20 °C, na metodologia EUED, são utilizados os seguintes fatores, uma altitude de 903 m, que corresponde à altitude da cidade de Curitiba:

- Quando a temperatura do ar externo estiver abaixo de 20 °C e a entalpia do ar inferior a 42,797 kJ/kg, somente será utilizado Free Cooling.
- Quando a temperatura estiver entre 15°C e 24 °C e a entalpia de 42,7979 kJ/kg a 55,8233 kJ/kg, será utilizado o sistema evaporativo.

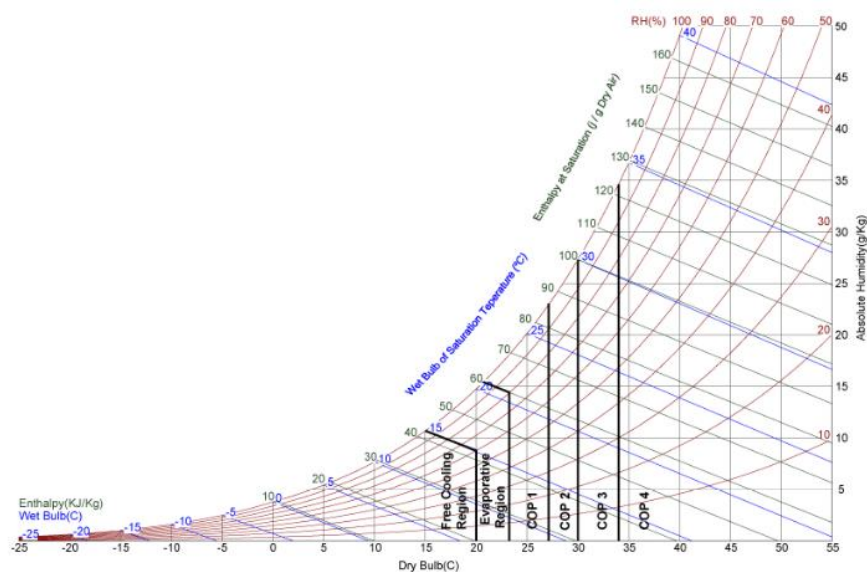
- Quando a temperatura estiver acima de 20 °C e a entalpia for superior a 55,8233 kJ/kg, o sistema normalmente será usado nas seguintes condições:

1. Temperatura de entrada de ar entre 24 °C e 27 °C, chamada COP1.
2. Temperatura de entrada de ar entre 27,1 °C e 30 °C, chamada COP2.
3. Temperatura de entrada de ar entre 30,1 °C e 33 °C, chamada COP3.
4. Temperatura de ingestão de ar acima de 33 °C em qualquer condição, chamada COP4.

Se a temperatura geotérmica estiver disponível, será utilizado para determinar a COP, com um diferencial de 4 °C da temperatura geotérmica.

Para simular as condições de COP1, COP2, COP3 e COP4, foi utilizado um software COOLPACK (iniciado pela condição 4 para simular um coeficiente isentrópico padrão para poder identificar o COP com a variação das temperaturas de condensação). Para o efeito da temperatura de condensação, foi adicionado à 11 °C a temperatura de admissão do ar sugerido na NBR 16255-2013, com as condições mostradas na Tabela 2, para assumir um fluido refrigerante R410A. Os resultados obtidos com o software são descritos abaixo para os casos COP4 a COP1 em ordem decrescente. Para sistemas de condensação para água geotérmica, o valor de 6 °C será adicionado a temperatura de admissão de água no condensador (ABNT NBR16255, 13). Especificamente, para sistemas geotérmicos, é utilizada a temperatura de condensação constante, Figura 11 mostra os diferentes estudos de caso no gráfico psicrométrico.

Figura 11 - Gráfico psicrométrico com variação dos estudos de caso.



3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Um sistema de resfriamento convencional reside no uso de um ciclo normal de compressão com fluido refrigerante, levando em conta o tipo de refrigerante a ser escolhido e suas temperaturas de evaporação e condensação.

Os sistemas COP1, COP2, COP3 e COP4 descritos acima estão principalmente relacionados a temperaturas externas ou temperaturas geotérmicas, se disponíveis, podendo aumentar ou diminuir as relações de compressão, com o rendimento de Carnot sendo inversamente proporcional às diferenças nas relações de compressão. Essas relações de compressão são proporcionais às diferenças entre as temperaturas das fontes frias e quentes, dadas pelas Equações 1 e 2.

$$n = 1 - \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) \quad (1)$$

$$\text{Relação de Compressão} = \frac{\text{P.S.I.A. Pressão Descarga}}{\text{P.S.I.A. Pressão Sucção}} \quad (2)$$

Especificamente, a determinação do EUED para a cidade de Curitiba está detalhada abaixo na Tabela 4, com base na tabela completa do Ashrae Data Viewer, para as 8760 horas, temperaturas de frequências anuais com relação de horas para cada temperatura e com a correlação de temperatura de bulbo úmido coincidente, Carga Térmica, em kW (ASHRAE, 2016).

Considere um datacenter típico com as seguintes características.

- Carga térmica = 790,6 kW.
- Potência de equipamentos: Consumo de energia do equipamento de dados = 694,60 kW.
- Potência de iluminação: Consumo de energia = 16 kW.
- Potência e outros: Consumo de energia = 80 kW.
- Potência nominal de sistema de climatização: consumo de energia = 246,10 kW.

O cálculo EUED de um Datacenter, deriva da soma da energia relacionada a 6084696 [kWh/ano] do consumo do equipamento + 140160 [kWh/ano] do consumo de iluminação + 840960 [kWh/ano] do consumo de outros elementos + a soma do consumo de HVAC [kWh/ano] dividido pelo consumo de equipamentos [kWh/ano], Equação 3.

$$EUED = \frac{(E_{Equip.})+(E_{Iluminação})+(E_{outros})+(\Sigma E_{HVAC})}{E_{Equip}} \quad (3)$$

O cálculo do ventilador COP EUED consiste na carga térmica total multiplicada pelo total de horas do ano (8760 horas), dividida pela energia

consumida pelo HVAC anualmente [kWh/ano].

Utilizando os dados do ASHRAE WEATHER Data Viewer, as características da cidade de Curitiba com as necessidades do datacenter de temperatura permitem mais horas de Free Cooling e evaporativo somando um total de 7863.887 horas (ASHRAE, 2016).

A Tabela 4 mostra os resultados comparativos dos diferentes sistemas e os resultados do EUED geotérmico e da COP geotérmica EUED da cidade de Curitiba.

Tabela 4 - Cálculos de EUED geotérmico e COP EUED geotérmico para a cidade de Curitiba.

Sistema	Carga térmica total [kW]	COP [kW/kW]	Energia Elétrica [kW]	Horas [h]	HVAC Energia anual [kWh]
Free cooling	790,600	19,180	41,220	4410,000	181780,286
EVAP	790,600	16,780	47,116	3453,887	162732,026
COP1	790,600	8,320	95,024	896,113	85152,248
					429664,562
				COP EUED	16,119
EUED	1,232			Geotérmica	CURITIBA

O índice PDD (Perfect Design Datacenter) é uma redefinição do EUED dada pela Equação 3.

É um índice que prioriza a eficiência em ordem crescente e é fácil de interpretar, pois varia entre 0 e 1, sendo 1 um “design perfeito”. Um ábaco de decisão pode ser facilmente gerado usando o PDD, entre 0 e 1, sendo 1 um “design perfeito”. Um ábaco de decisão pode ser facilmente gerado usando o PDD que é dado pelas Equações 4 e 5 (Santos et al, 2020):

$$PDD = \frac{\text{Equipamento de TI kWh}}{\text{kWh anual DC variações enthalpia AVAC}} \quad (4)$$

Ou também pode ser definido por:

$$PDD = \frac{1}{EUED} \quad (5)$$

Ou seja, nesse caso em que o EUED foi de 1,232 kWh/kWh, o PDD seria de 0,8116 a vantagem dessa visualização é que fica mais fácil saber a diferença entre esse DC por exemplo em Curitiba utilizando o sistema híbrido de free cooling, evaporativo, ciclo de compressão com condensação à água geotérmica com um perfil de um DC perfeito que seria um valor igual a 1.

Do ponto de vista de COP EUED a associação híbrida das tecnologias de Free Cooling, Evaporativo e ar-condicionado por compressão com condensador resfriado por água oriunda de sistema geotérmico se mostrou satisfatório visto que o COP EUED foi de 16,119 kWh/kWh, em geral os equipamentos de ar condicionado ainda sobre os conceitos da ASHRAE 90.1 possuem COPs muito mais baixo, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Comparação do índice ASHRAE 90.1 com EvaCOP.

Sistemas AVAC	Faixa de capacidade kW	COP ASHRAE 90.1 W/W
Ar condicionado condensação a ar	<19	3,81
Espaços restritos condensação a ar	<9	3,52
Dutos pequenos, velocidades alta condensação a ar	<19	3,52
Ar condicionados condensação a ar	>19 e <40	3,22
Ar condicionados condensação a ar	>70 e <223	3,22
Ar condicionados condensação a ar	>40 e 71	2,87
Chillers condensação a ar	<528	2,98
Chillers condensação a ar	>528	2,98
Chillers condensação a água	<528	5,77
Chillers Centrífugos condensação a água	>528 e <1055	5,77
Chillers Centrífugos condensação a água	>1055 e <1407	6,29
Chillers Centrífugos condensação a água	>1407 e <2110	6,29
Chillers Centrífugos condensação a água	>2110	6,29

4. CONCLUSÃO

Um desafio para qualquer projetista é conseguir uma edificação NET Zero, nesse contexto a etapa inicial do projeto é muito importante, e não pode se limitar apenas à inovação tecnológica, ou da envoltória pra dentro, questões do relevo, geotérmicas, históricos psicrométricos também devem ser levados em conta na tomada de decisão dos sistemas a serem implementados, é muito importante envolver o projetista de ar condicionado desde a etapa inicial do projeto, existe o conceito francês baseado em 06 passos que envolvem a simplicidade, compatibilidade, técnicas viáveis, gerenciamento fácil, sustentabilidade, com baixo custo (Contrada et al, 2019) e a metodologia dos 04 elementos tem aderência a esses princípios.

Os quatro elementos naturais são a base para definir a melhor solução para o ar-condicionado Empédocles (490 - 430 a.C.), por outro lado, ensinou que tudo é formado por quatro "princípios": terra, água, fogo e ar. Cada elemento é caracterizado por duas propriedades dos opostos naturais, quente-frio e seco.

O diagrama higrotérmico dos 04 elementos pode ser uma ferramenta interessante para a tomada de decisão de um sistema de ar-condicionado, inclusive num sistema híbrido com Free Cooling, evaporativo e ciclo de

refrigeração a compressão como o demonstrado no índice COP EUED, inclusive o valor médio anual de COP EUED de 16,119 kWh/kWh em Curitiba foi um valor bastante alto visto que os COPs de sistema de ar condicionado tendo em vista que o COP de modernos chillers com compressores centrífugos o COP é de 6,29 kW/kW, ou seja, uma diferença de 2,56 vezes.

Conhecendo o crescimento e a necessidade de controle climático em tempos de aquecimento global, o diagrama baseado nos quatro elementos torna-se uma fonte interessante para a decisão de qual é o melhor sistema climático.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 16255- 2013, **Sistemas de refrigeração para supermercados — Diretrizes para o projeto, instalação e operação**. 2013.

ABRAVA. **Seminário Brasileiro de Etiquetagem em Eficiência Energética para sistemas AVAC**; ABRAVA: São Paulo, Brazil, 2018.

AGRY (2020). **Geotérmica**. Disponível em <https://www.agry.purdue.edu/hydrology/projects/Geothermal/Geothermal.asp>.

IEA. **The future of cooling**. Fatih Birol, Diretor Executivo da IEA. Disponível em <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>. Acesso em 12/02/2020.

ASHRAE (2016). **Visualizador de dados meteorológicos**. Software ASHRAE versão 5.0. 2016.

ASHRAE. **Ashrae Norma 90.1 -2019 - Padrão de energia para edifícios, exceto edifícios residenciais de baixo crescimento (aprovado pela ANSI; copatrocinado pela IES**. American Society of Heating, Refrigeration & Air Conditioning Engineers (ASHRAE): Atlanta, GA, USA, 2019.

ATEGROUP (2020). **Evaporação**. Disponível em: <https://www.ategroup.com/hmx/why-evaporative/> Acesso em: 12/06/2020.

Chaudhari, B.D.; Sonawane, T.; Patil, S.M. Dube, A. (2015). **Uma revisão sobre a tecnologia de resfriamento evaporativo**. International Journal of Research in Advent Technology, Vol.3, No.2.

Contrada, F; Kindinis, A; Caron, J F; Gobin,C. **Um método de avaliação de estágio de projeto inicial baseado na construtibilidade para avaliação de desempenho de edifícios**. Paper Acesso Aberto. Sci. Eng. 609 072070. 2019. IOP Con-ference Series: Materials Science and Engineering, Volume 609, Edição 7. 2019.

COOLPACK. **Software COOLPACK versão1.50**. Departamento de Engenharia Mecânica (MEK), Seção de Energia Térmica (TES)na Universidade Técnica da Dinamarca (DTU). 2021.

Egg, J.; Howard, B.C. (2011). HVAC **Geothermal**. MacGraw Hill, EUA. 2011.

EERE (2009). **Bombas de calor de fonte de terra: visão geral do status do mercado**, barriers para adoção para superação de barreiras, relatório final do USDOE/EERE, 2009. www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/gshp_overview.pdf.

EERE (2014). **Programa de Tecnologias Geotérmicas no Departamento de Energia dos EUA**. 2014. Disponível em www1.eere.energy.gov/geothermal/heatpumps.html.

EUROVENT. **Evaporative cooling**. Disponível em <https://www.eurovent-certification.com/en/third-party-certification/certification-programs/ec-evaporative-cooling> Acessado em 22/04/2021.

POINTHEATING (15/03/2020). **Geotérmica**. Disponível em: <https://www.pointheating.com/geothermal>. Acessado em 15/03/2020.

Rooney, A. **A história da física**. Editora Mbooks. São Paulo. 2013.

Santos, A.F.; Souza, H.J.L.; Cantão, M.P.; Gaspar, P.D. **Análise das temperaturas geotérmicas para aplicação de bombas de calor no Paraná (Brasil)**, Open Eng. 2016; 6:485-491.

Santos, A.F.; Souza, H.J.L.; Gaspar, P.D. **New Data Center Performance Index: Perfect Design Data Center—PDD**. Climate. Outubro 2020. DOI: 10.3390/cli8100110.

Terra Wellingtonç. (2018). **The mom's guide to growing your family green**. ISBN-13: 978-0-312-38473-9. ISBN-10: 0-312-38473-4 1ª Edição. Março de 2009.

USDOE, **Bombas de Calor Geotérmicas**, 2013, disponível em <http://energy.gov/energysaver/articles/geothermal-heat-pumps>.

Zapaterra, C.L.I. (2016). **Estudo da melhoria do desempenho dos sistemas de resfriamento evaporativo por micro aspersão de água**. Universidade de São Paulo. 2016.

Zhang, Y. Wei, Z., Zhang, M. (2017). **Tecnologias de resfriamento gratuitas para data centers: mecanismo de economia de energia e aplicações**, Energy Procedia. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.703>. 2017.