

ENGENHARIA MECÂNICA PLENA

Alunos: Felipe Boquete Ciarini, Giulianna Ferracioli Pinheiro dos Santos, Igor Farah Fernandes Batista, Renan Vansan Dietrich, Renato Ferreira da Rocha Junior.

Orientador: Prof. Cyro Albuquerque Neto - cyroan@fei.edu.br



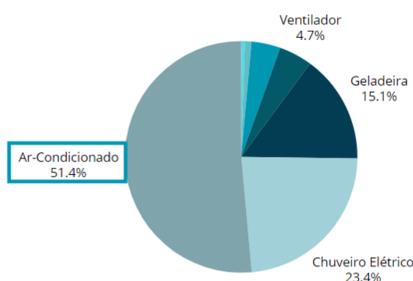
GEOCOOLING: ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO CONVENCIONAIS E GEOTÉRMICO-CONVENCIONAIS HÍBRIDOS: UM ESTUDO SOBRE SUSTENTABILIDADE NA CLIMATIZAÇÃO DE AMBIENTES.

I. INTRODUÇÃO

Energia limpa e acessível é um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Para que seja atingido, novas formas de geração e distribuição de energia proveniente de fontes renováveis devem ser pensadas, visando a diminuição da emissão de carbono na atmosfera e o controle das mudanças climáticas, e que ao mesmo tempo possam ser disponibilizadas para toda a população mundial.

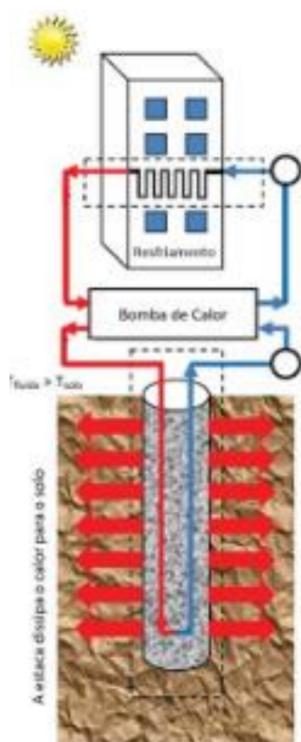


Tão necessário quanto pensar em novas formas de geração e distribuição de energia é buscar a melhoria da eficiência dos diversos equipamentos consumidores de energia que estão presentes no dia a dia da humanidade. Os sistemas de climatização de ambientes, que nesse contexto são responsáveis pelo consumo de mais da metade da energia elétrica de uma residência comum (Tribuna do Norte, 2021), também podem ser repensados.



TRIBUNA DO NORTE (2021)

Considerando-se que há uma diferença de temperatura entre a atmosfera e o solo, esta diferença de temperatura pode ser utilizada para que o calor de um ambiente seja rejeitado no solo, de forma a refrigerá-lo, por meio das chamadas estacas geotérmicas, que consistem em estruturas de concreto dentro das quais um fluido circula por meio de tubos, que são geralmente de cobre ou de material polimérico. Essas estacas são instaladas em furos previamente realizados no solo.



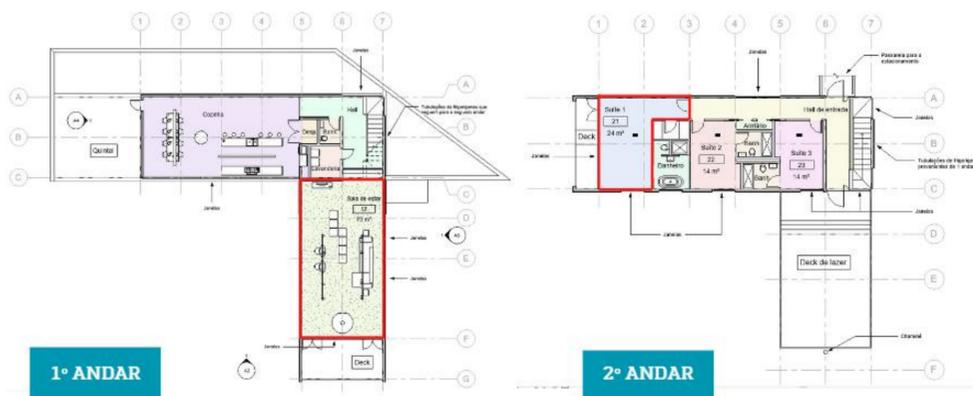
ADAPTADO DE CIRIADES, JEAN-PIERRE (2019).

II. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo comparar a eficiência de um sistema de refrigeração convencional com a eficiência de um sistema de refrigeração híbrido (elétrico e geotérmico).

III. METODOLOGIA

Primeiramente, define-se o ambiente a ser refrigerado. O ambiente escolhido foi uma residência de dois andares, sendo que os dois cômodos a serem refrigerados são uma sala de estar localizada no primeiro andar e uma suíte, localizada no andar superior.

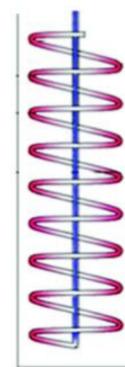


Em seguida deve ser calculada a carga térmica do ambiente, que é a quantidade de calor a ser removido por segundo pelo sistema de refrigeração para que se mantenha a temperatura desejada nos cômodos.

A comparação entre o sistema convencional e o sistema híbrido será feita pela análise do coeficiente de performance de cada um, que é a razão entre a quantidade de calor retirado do ambiente e a energia elétrica utilizada para isso. Quando maior o coeficiente de performance, mais eficiente é o sistema.

A estaca geotérmica que será utilizada é do tipo helicoidal, pois esta proporciona maior área para transferência de calor quando comparada com uma estaca em que a tubulação tem formato de U.

Adaptando algumas equações utilizadas no trabalho de Marques (2015), definiu-se um modelo matemático para a transferência de calor de uma estaca geotérmica do tipo helicoidal, que considera a temperatura de entrada do fluido (água), temperatura do solo, uma resistência de convecção entre água e tubo (de cobre), e resistências térmicas geradas pelo tubo, pelo enchimento da estaca (concreto) e pelo solo, além de parâmetros geométricos do helicóide.



$$Q = \frac{T_{ent.água} - T_{solo}}{\frac{1}{\sqrt{\left\{H^2 + \left[\frac{H}{p}(2\pi R)\right]^2\right\}} \left(\frac{1}{2\pi r_i * h_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi * k_{tubo}} \right) + \frac{\ln\left(\frac{R_c}{R_e}\right)}{2\pi H k_{Ench}} + \frac{\ln\left(\frac{R_{solo}}{R_c}\right)}{2\pi H k_{solo}}}}$$

ENGENHARIA MECÂNICA PLENA

Alunos: Felipe Boquete Ciarini, Giulianna Ferracioli Pinheiro dos Santos, Igor Farah Fernandes Batista, Renan Vansan Dietrich, Renato Ferreira da Rocha Junior

Orientador: Cyro Albuquerque Neto - cyroan@fei.edu.br



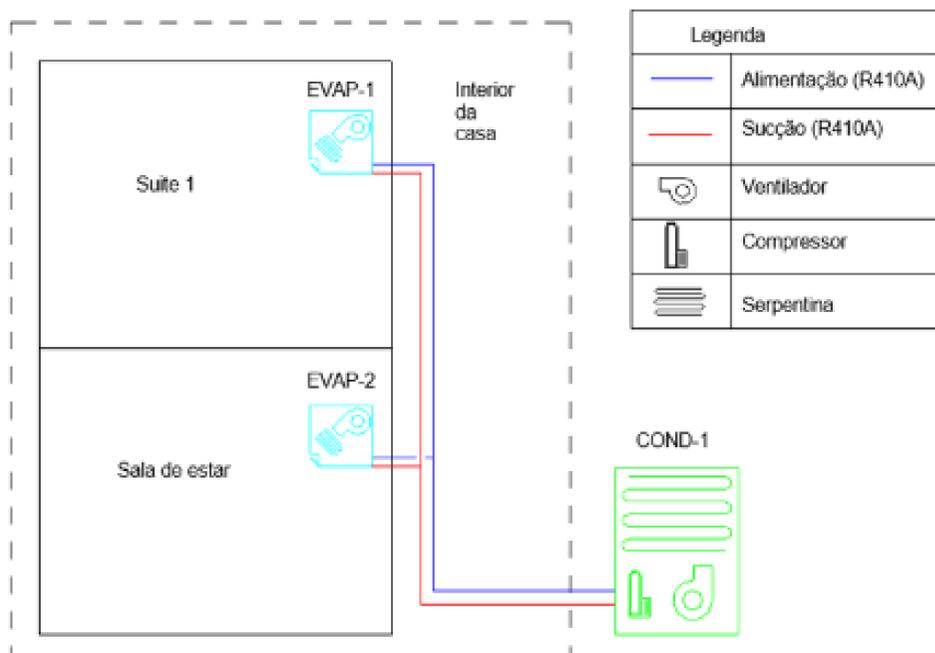
IV. RESULTADOS

Para o cálculo da carga térmica, foram inseridos no software comercial E-20 HAP dados relacionados à localização da residência (coordenadas geográficas), temperaturas externas no verão e inverno, temperatura desejada no ambiente (22°C), valores de condutividade térmica de paredes e janelas, calor emitido por pessoas, e calor emitido por iluminação. A partir destes valores de entrada, obteve-se os resultados da tabela abaixo. “Cooling Sensible” é a carga térmica, e “Air Flow” é a vazão de ar a ser proporcionada pelo ventilador da evaporadora.

Space Loads and Airflows

Zone Name / Space Name	Cooling Sensible (kW)	Air Flow (L/s)
Zone 1		
12_Sala de estar	6,5	498
21_Suite1	5,5	423

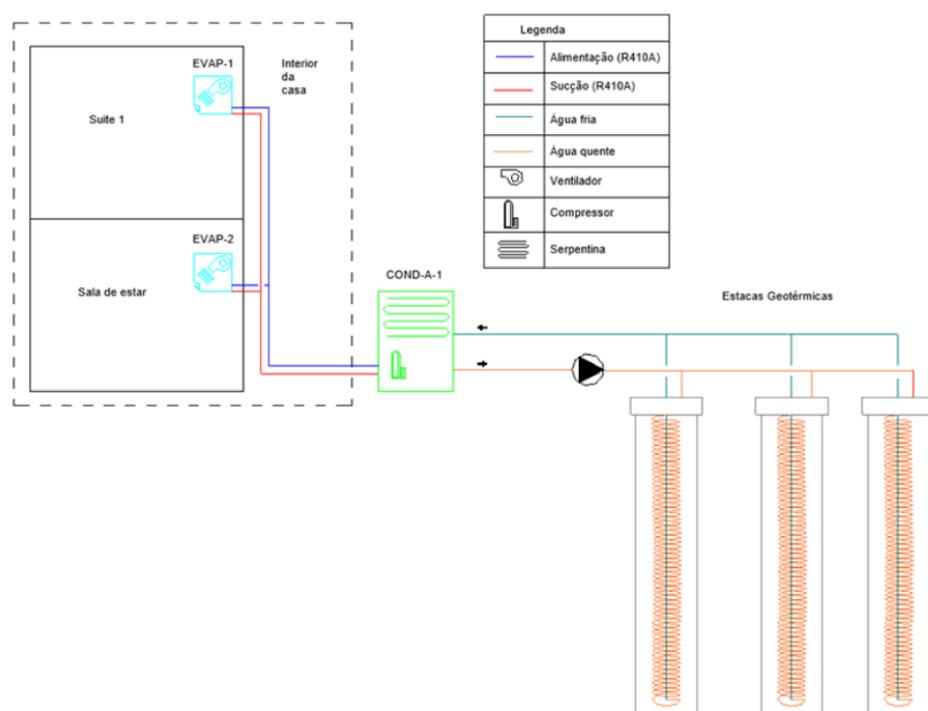
Foram selecionadas então as evaporadoras e condensadora do sistema convencional que supra as necessidades de refrigeração. Foi selecionada para ambos os cômodos a evaporadora tipo piso-teto FXHQ100MAVE, da fabricante Daikin, que fornece a vazão de ar necessária. A condensadora selecionada foi uma do tipo VRF Fit RSUYQ5AVM, da mesma fabricante, que possui uma capacidade de refrigeração de 14 kW, atendendo assim a carga térmica total dos ambientes. A imagem abaixo é um desenho esquemático do sistema convencional:



O coeficiente de performance (COP) do sistema convencional foi calculado obtendo-se o consumo de energia da condensadora a partir do catálogo do fabricante. Considerando a temperatura externa de 31,7°C, visando manter o ambiente interno a 22°C, a condensadora opera com um COP de 4,38.

O sistema híbrido de refrigeração proposto consiste num sistema de expansão indireto, em que há dois circuitos de fluidos: um por onde circula um fluido refrigerante de expansão, sendo que este é o que retira o calor do ambiente, e outro por onde circula água, que retira o calor do fluido refrigerante numa condensadora à água e o dissipa no solo, por meio das estacas geotérmicas. Optou-se por uma conexão em paralelo entre as estacas, de forma a maximizar a troca de calor e minimizar a potência elétrica demandada da bomba hidráulica, uma vez que a perda de carga do sistema em paralelo é menor.

Para o sistema híbrido, considerando-se a carga térmica previamente calculada, selecionou-se a condensadora à água RWEYQ6TYM da fabricante Daikin, que tem uma capacidade de resfriamento de 16 kW. É através deste equipamento que ocorre a troca de calor entre o fluido refrigerante R410A e a água.



Foi definida a faixa de operação da condensadora à água, ou seja, a vazão de água de trabalho (50 L/min) e a temperatura de entrada e saída da água no equipamento (30 °C e 34,3 °C, respectivamente). A partir destes dados, foi calculada a quantidade de calor necessária de ser removida da água pelo sistema geotérmico, utilizando-se a equação fundamental da calorimetria $Q = m c \Delta T$, que é igual a 15 kW.

Para esta faixa de operação, foi verificada a potência elétrica consumida pelo equipamento: 1,85 kW.

Em relação às estacas geotérmicas, algumas definições e condições de contorno foram consideradas:

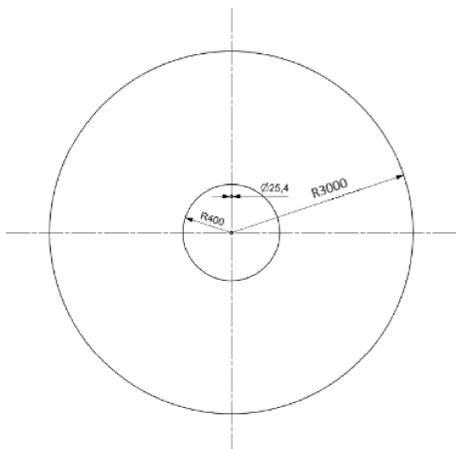
- Fluxo de calor ocorre na direção radial;
- Topo e fundo da estaca adiabáticos;
- Temperatura do solo constante em sua profundidade;
- Método de transferência de calor predominante: condução;
- Raio de influência térmica de 3 metros.

A imagem a seguir é uma vista da planta da estaca geotérmica, que mostra o raio de concreto adotado (0,4 m), o diâmetro da tubulação adotado (25,4 mm), e o raio de influência térmica de 3 metros considerado. Este raio de indica que a uma distância de 3 metros a partir do centro da estaca, a temperatura do solo não se altera.

ENGENHARIA MECÂNICA PLENA

Alunos: Felipe Boquete Ciarini, Giuliana Ferracioli Pinheiro dos Santos, Igor Farah Fernandes Batista, Renan Vansan Dietrich, Renato Ferreira da Rocha Junior

Orientador: Cyro Albuquerque Neto - cyroan@fei.edu.br



Os parâmetros geométricos, geotécnicos, hidráulicos e termodinâmicos do sistema geotérmico estão contidos na tabela abaixo:

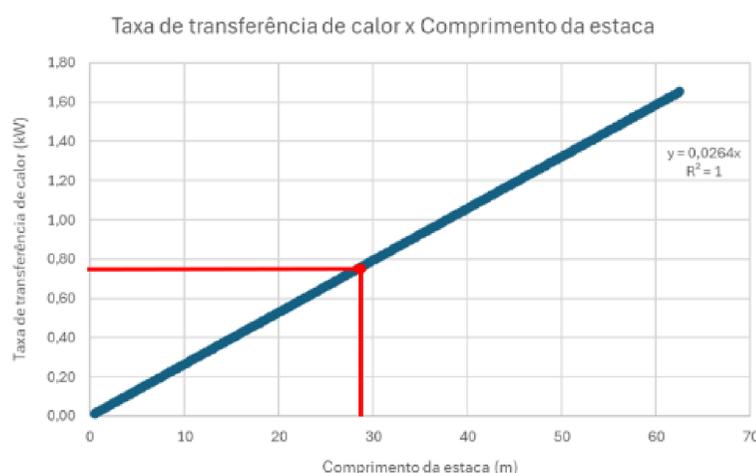
Parâmetro	Valor	Unidade
Temperatura de entrada na estaca (T ent. água)	34,3	°C
Temperatura do solo (T solo)	24	°C
Comprimento da estaca (H)	váriável	m
Passo da hélice (p)	100	mm
Raio da circunferência da hélice (Re)	300	mm
Raio interno do tubo (ri)	11,12	mm
Raio externo do tubo (re)	12,7	mm
Coefficiente de convecção água-tubo (hi)	6189,03	W/m ² .K
Raio de concreto (Rc)	400	mm
Raio de solo (R solo)	3	m
Condutividade térmica do tubo de cobre (k tubo)	372	W/m.K
Condutividade térmica do concreto (k ench)	2	W/m.K
Condutividade térmica do solo (k solo)	2,82	W/m.K

Substituindo estes valores na equação abaixo, obtém-se a taxa de transferência de calor proporcionada pela estaca em função de seu comprimento H. A partir dessa função plotou-se um gráfico. Uma regressão linear foi feita, que gerou um resíduo quadrado igual a 1.

$$Q = \frac{34,3 - 24}{\left\{ H^2 + \left[\frac{H}{100} \left(\frac{2\pi \cdot 300}{1000} \right) \right]^2 \right\} \left(\frac{1}{2\pi \cdot \frac{11,12}{1000} \cdot 6189,03} + \frac{\ln\left(\frac{12,70}{11,12}\right)}{2\pi \cdot 372} + \frac{\ln\left(\frac{400}{300}\right)}{2\pi \cdot 2 \cdot H} + \frac{\ln\left(\frac{3000}{400}\right)}{2\pi H \cdot 2,82} \right)}$$

Há um limite máximo de quantidade de estacas imposto pela área do terreno da residência, de forma que se garanta um espaçamento suficiente entre as estacas, para que não haja interação térmica entre elas. Este limite máximo é de 20 estacas geotérmicas, e é a quantidade que será utilizada, pois um maior número de estacas demanda menor comprimento individual, demandando menos potência da bomba hidráulica que será selecionada posteriormente.

Como o conjunto de estacas, que estão conectadas em paralelo, precisa retirar 15 kW de calor da água, e 20 estacas serão utilizadas, cada estaca deve retirar 0,75 kW de calor, e de acordo com o gráfico, o comprimento de estaca que proporciona essa troca é igual a 28,5 metros.



Tendo sido definidas a vazão de água de trabalho da condensadora à água (50 L/min = 3 m³/hora), a quantidade de estacas e todas as dimensões de sua geometria, pode-se selecionar a bomba hidráulica.

Para isso, foi calculada a carga manométrica a ser fornecida pela bomba para a instalação. Por se tratar de um ciclo fechado, e pelo fato de as estacas estarem conectadas em paralelo, a carga manométrica necessária é igual à perda de carga de uma estaca individual, que foi calculada e é igual a 1,38 mca.

Com isso, selecionou-se uma bomba da fabricante Thebe, que atende a vazão e carga manométrica demandadas, utilizando uma potência elétrica de 270 W.

Por fim, pode-se calcular o COP do sistema híbrido, que deve considerar a potência elétrica consumida pela condensadora à água e pela bomba hidráulica:

$$COP = \frac{12 \text{ kW (calor removido do ambiente)}}{(1,85 + 0,27) \text{ kW (consumo elétrico)}} \approx 5,66$$

V. CONCLUSÃO

Pela comparação dos coeficientes de performance de ambos os sistemas, conclui-se que o sistema híbrido proposto apresentou uma eficiência 29% maior em relação à eficiência do sistema convencional.

Porém, há de se considerar que este sistema demanda uma área de terreno relativamente grande para ser implementado. Utiliza energia geotérmica, uma fonte limpa e renovável, porém ainda não é uma solução acessível para todos.

