

# ESTUDO DE UM CONDENSADOR DE VAPOR UTILIZANDO O EFEITO PELTIER COM ALIMENTAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA PARA OBTENÇÃO DE ÁGUA

CARDOSO, I. A<sup>1.</sup>; SOARES, J. R<sup>2.</sup>; DOMINGUES, J. H<sup>3.</sup>; MARÇAL, R. C<sup>4.</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Avenida Universitária, Km. 3,3, CEP 75083 – 515 – Cidade Universitária – Anápolis, GO, Brasil.

<sup>1</sup>italoa.cardoso@hotmail.com, <sup>2</sup>jennyfer\_rosasoares@hotmail.com,

<sup>3</sup>joaohamiltonm@hotmail.com, <sup>4</sup>roctb\_25@hotmail.com

**Resumo:** A escassez de água potável surge como um dos problemas críticos que ameaça a humanidade, 80 % da população mundial de alguma forma já experimenta algum tipo de estresse hídrico. O estudo de novas formas e técnicas de produção de água potável é cada vez mais necessário, uma das pesquisas mais proeminentes é a obtenção de água através da desumidificação do ar atmosférico. O objetivo é realizar um estudo experimental de condensação do vapor d'água com células termoelétricas de efeito Peltier. Utilizando os dados das características climáticas da região do estado de Goiás na cidade de Anápolis, foi desenvolvido um protótipo com o objetivo de rebaixamento da temperatura o ar atmosférico abaixo do seu ponto de orvalho. Este estudo também resultou no dimensionamento da potência consumida de energia elétrica para aplicação com painéis solares fotovoltaicos obtendo assim um sistema totalmente autônomo e fora da rede elétrica. Com base nos dados coletados no protótipo construído, foram feitas as análises e a busca por estabelecer uma correlação entre os principais parâmetros termodinâmicos, com a finalidade de otimizar o volume de condensado obtido pelo processo. E um projeto viável para residências, um sistema compacto onde testes, melhorias e estudos mais profundos devem ser continuados

**Palavras-chave:** Água, condensação, Peltier.

**Summary:** The scarcity of drinking water emerges as one of the critical problems that threatens humanity, 80% of the world population somehow already experiences some kind of water stress. The study of new ways and techniques of drinking water production is increasingly necessary, one of the most prominent research is the obtaining of water through the dehumidification of atmospheric air. The objective is to conduct an experimental study of water vapor condensation with Peltier effect thermoelectric cells. Using the data of the climatic characteristics of the region of the state of Goiás in the city of Anápolis, a prototype was developed with the objective of lowering the temperature of the atmospheric air below its dew point. This study also resulted in the design of the electric power consumed for application with photovoltaic solar panels, thus obtaining a totally autonomous system and outside the electric grid. Based on the data collected in the built prototype, the analyzes and the search were made to establish a correlation between the main thermodynamic parameters, in order to optimize the condensate volume obtained by the process. And a viable project for homes, a compact system where testing, improvement and deeper studies must be continued.

**Key words:** Water, condensation, Peltier.

## Introdução

A Terra possui uma superfície completa de 510 milhões de Km<sup>2</sup>, desses, dois terços constituem-se de água, cerca de 360 milhões de Km<sup>2</sup>, porém, 98% dessa água está localizada nos oceanos [1].

As principais fontes de água doce para consumo humano estão presentes em lagos, rios, água da chuva e em depósitos de água subterrânea, tudo isso com cerca de 0,26% do total das reservas de água doce global é aproximadamente 90.000 km<sup>3</sup>. Já o ar atmosférico contém cerca de 13.000 km<sup>3</sup> de água em forma de vapor, cerca de 0,04% [2].

A escassez de água potável surge como um dos problemas críticos que ameaçam a humanidade. Nutriente indispensável, mas que continua sendo inacessível para grande parte da população mundial, pois ainda que disponível esta água pode estar imprópria para o consumo humano. Estatísticas indicam que universalmente pelo menos 1,8 bilhões de pessoas utilizam uma fonte de água contaminada e, avalia-se que o consumo de água destas fontes seja a causa de 502.000 mortes diarreicas por ano [2].

O avanço industrial acompanhado da expansão urbana são também causas preocupantes da ameaça global de escassez de água no mundo. De acordo com a UNESCO, em 2025 metade da população mundial estará vivendo em áreas que passarão escassez severa de água [1].

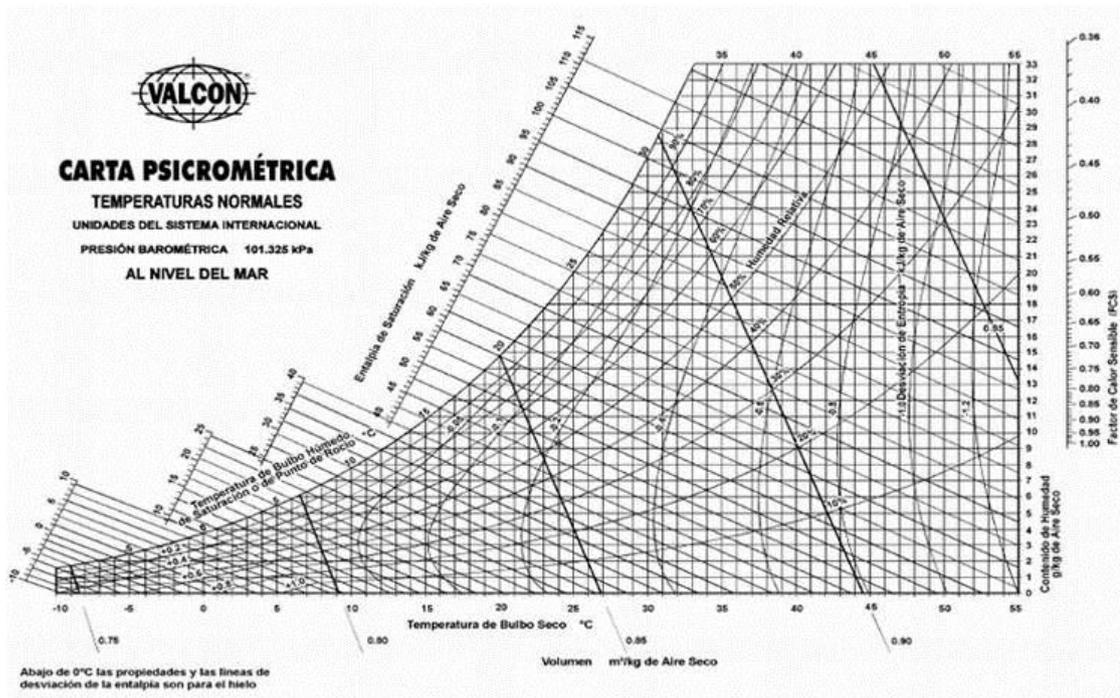
Com todos estes desafios, está aumentando o interesse de governos em estabelecer novas políticas públicas para lidar com essa situação. Estudos e pesquisas para novas formas e técnicas de produção de água são cada vez mais necessários, buscando atender países e comunidades nos quais a população já sofre com alguma forma de estresse hídrico, adaptando estes estudos para as condições financeiras extremamente precárias e com situações de vidas que em muitas das vezes são frágeis e miseráveis.[3,4].

Uma das pesquisas mais proeminentes é a obtenção de água através da desumidificação do ar, pois mesmo em regiões secas há disponibilidade de vapor de água na atmosfera. Como mostra um pesquisador que empregou bobinas de refrigeração semelhantes às empregadas em aparelhos de climatização, para umidade relativa típica da Arábia Saudita (entre 30 e 70%) e foram obtidos 17,6 Kg m<sup>2</sup> dia de água para uma velocidade de ar de 2,25 m/s [5].

Pesquisadores brasileiros Silva e Sousa investigaram a taxa de produção de condensado aquoso por metro quadrado de área resfriada, para as condições de regiões semiáridas do nordeste brasileiro, e obtiveram resultados satisfatórios, como 1,23 L/m<sup>2</sup>, porém utilizaram três garrafas PET's congeladas de 2L [6]. O desafio de outros pesquisadores explorou o aumento da área superficial do trocador de calor para uma geração de maior quantidade de água por dia com placas de alumínio com temperatura de 0°C [7].

Vários são os procedimentos existentes de retirada de água do ar atmosférico, uma informação crucial e o estudo e conhecimento da carta psicrométrica, diagrama no qual é armazenado as características da mistura entre o ar seco e o vapor d'água, ela apresenta variável como o ponto de orvalho, que é a temperatura inferior que se tem início a condensação, ou seja à pressão constante do vapor de água contida no ar como e mostrado na Figura 1.

Figura 1- Carta Psicrométrica



Fonte - [3]

A carta psicrométrica também apresenta a variável de temperatura de bulbo úmido um dos métodos para definir a condição de ponto de orvalho, assim podemos dizer que o ponto de orvalho mostra a situação mínima de temperatura de bulbo seco em que uma combinação ar-vapor pode manter água no estado gasoso, sendo que abaixo desse ocorrerá uma condensação [3,4].

Um sistema termoelétrico é um conjunto de acontecimentos físicos que associa a temperatura com as propriedades elétricas dos materiais, ou seja, tem como princípio o fato de dois metais ou ligas distintas possuir diferença de temperatura, quando colocado em contato, através de um condutor existirá movimentação de uma corrente elétrica mínima (efeito Seebeck e Peltier).

Na situação oposta, existirá diferença de temperatura entre dois metais distintos se entre eles circular uma corrente elétrica retificada, a instalação adequada do metal de menor temperatura dentro de um espaço termicamente isolado do exterior, assim alcançar baixas temperaturas, esta relação permite a transformação direta de um gradiente de calor em eletricidade ou vice-versa, exemplos de aplicação deste princípio é a existência de geladeiras e bebedouros, porém são de baixo rendimento[8,3].

O efeito das pastilhas Peltier é o aquecimento ou resfriamento observado quando uma corrente passa por duas junções diferentes. Um módulo Peltier típico consiste em duas placas cerâmicas, pontes elétricas e termopares, com vários materiais de semicondutores de tipo p e n, ligados eletricamente em série e termicamente em paralelo [9].

O enfoque deste estudo é desenvolver um projeto no qual se tem a condensação do ar atmosférico pelo resfriamento através do uso de células termoelétrica de efeito Peltier ligadas em série com a área do trocador de calor aumentada com placas de alumínio. Utilizando determinadas características climáticas da região do estado de Goiás na cidade de Anápolis, através dos princípios acima, deve-se chegar a temperatura abaixo à do ponto de orvalho e com auxílio da carta psicrométrica estudar esse fenômeno.

Para o complemento deste projeto será apresentado um sistema totalmente fora da rede elétrica, a demanda energética é um assunto atual e amplamente discutido, portanto terá uma breve apresentação de gastos de energia para uma possível aplicação de painéis solares fotovoltaicos, que e uma energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade.

## **Metodologia**

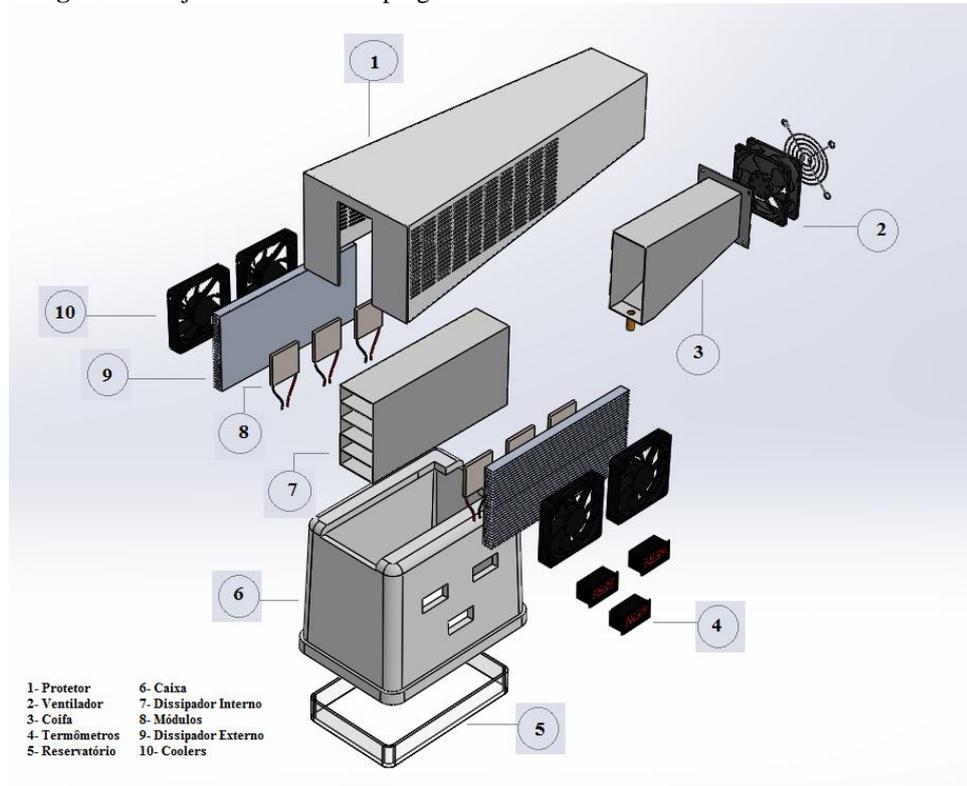
Para a realização desse projeto se faz necessário validar o estudo teórico com a construção de um sistema compacto empregando células termoelétrica de efeito Peltier. Buscando melhor rendimento e economia, o sistema teve uma série de experimentos e modificações antes do modelo final, como há área de contato entre dissipadores e células, foi observado que é necessário que toda superfície da célula tenha contato com os dissipadores. Aumentando a área de troca de calor, a condução de ambos os lados se torna mais eficientes por isso dissipadores térmicos de alumínio com superfície plana de 200x104 mm, aletas de 20mm e 6,4mm de espaçamento e utilizado.

Composto por seis células Peltier de 40x40mm ligadas em série, o lado frio resfria o interior do sistema, quando em contato com o dissipador de aço galvanizado, com espessura de 1,5mm, já no lado quente das pastilhas, o calor é removido por dois dissipadores térmicos de alumínio com superfícies planas, resfriados por coolers DC 12V com amperagens iguais a 0,35A. Através de testes, buscando uma melhor eficiência na transferência de calor, foi utilizada pasta térmica de óxido de zinco e silicone, entre os componentes, resultando assim em um melhor desempenho.

Conforme apresentado na Figura 2, o sistema é fechado frontalmente com uma coifa de aço galvanizado de 144x104 mm, composta por um ventilador axial DC 12V de 0,40A, com a medida de 80x80mm, fixado na extremidade da mesma. Um tubo de 20 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento seguindo por uma válvula de esfera (LOTUS) com 1/2" foi instalado na parte inferior da coifa com a finalidade de transferir o condensado até um reservatório.

A ligação do sistema foi simulada com a utilização de quatro fontes de energia elétrica que vão de 0 a 25V de tensão com uma corrente máxima de 5A; A fonte possui uma chave seletora que pode ser ajustada de 0 a 14V ou 14 a 25V, sendo uma delas selecionadas de 0 a 14V para os coolers que foram ligado em paralelo com uma tensão fixa de 12V, e outra para o ventilador axial com tensões ajustadas a 3,5V no mínimo e 12V no máximo, sendo alteradas ao longo do experimento, já para as células Peltier foram utilizadas duas fontes, ajustadas de 14 a 25V, sendo três células para cada, a ligação entre as células foram feitas em série, aplicando uma tensão fixa de 14,7V.

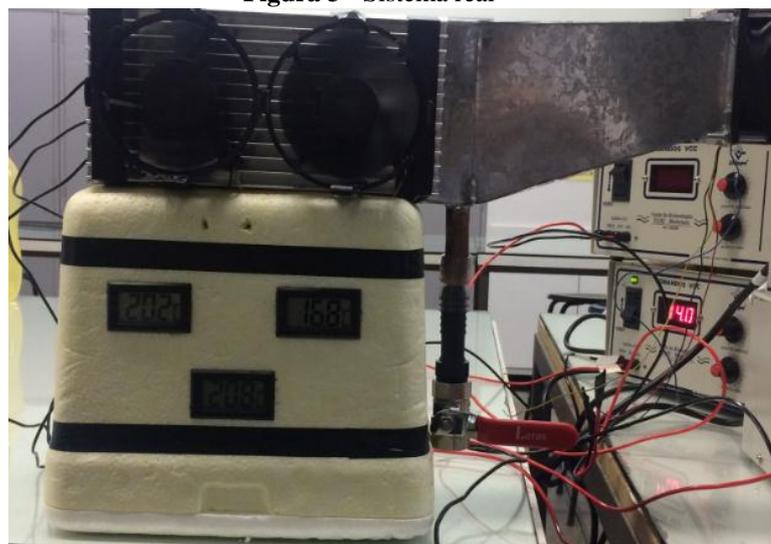
**Figura 2-** Projeto do sistema empregando células termoelétricas de efeito Peltier



Fonte - Os Autores

O funcionamento constitui-se na exaustão do ar ambiente pelo ventilador axial, forçando-o a passar no interior do sistema, quando em contato com as paredes dos dissipadores refrigeradas pelo efeito das pastilhas Peltier, a temperatura do ar é reduzida abaixo do ponto de orvalho resultando na condensação. O calor gerado do outro lado das pastilhas, (lado quente), deve ser dissipado evitando a condução do calor para o lado frio e o equilíbrio térmico, aumentando a eficiência das células [10,11].

**Figura 3 -** Sistema real



Fonte - Os Autores

Para a análise e realização dos experimentos propostos, instrumentos como termômetros digitais LCD compacto com sensor remoto ao ar livre de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  foram posicionados na

entrada, no interior e na saída do sistema, Psicrômetro digital portátil (INSTRUTEMP ITHT-2220) na faixa de umidade relativa: 1.0% a 99%, um pirômetro infravermelho (MT-350 MINIPA) com faixas de temperatura aproximadamente -30°C a 550°C auxiliando na comparação e verificação dos dados.

### **Equações utilizadas**

Para o conhecimento do consumo total do projeto e o emprego de painéis solares fotovoltaicos é necessário seguir o estudo com cálculos de potência ( $P$ ), utilizando dados coletados como tensão ( $U$ ), corrente ( $I$ ), expressos nas unidades watt (W), volt (V) e ampere (A) respectivamente [4,12].

A ( $P$ ) das células Peltier é igual a ( $U$ ) multiplicada pela ( $I$ ), como segue:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \quad (1)$$

Porém foram utilizadas duas fontes elétricas, representado por quantidade de fontes ( $Qdf$ ), e para saber a potência total das células ( $Pt^1$ ) a ( $P$ ) das mesmas deve ser multiplicada por ( $Qf$ ) então:

$$Pt^1 = P_1 \cdot Qf \quad (2)$$

Para saber o consumo total do sistema também deve ser calculado a ( $P$ ) dos coolers:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \quad (3)$$

Como somente uma fonte foi utilizada para os quatro coolers, a ( $I$ ) é multiplicada pela quantidade de coolers. O ventilador Axial (Exaustor) é calculado separadamente e para cada ( $U$ ) utilizada uma ( $P$ ) como:

$$P_3 = U \cdot I_3 \quad (4)$$

A potência total ( $PT$ ) se faz pela somatória das ( $P$ ) acima.

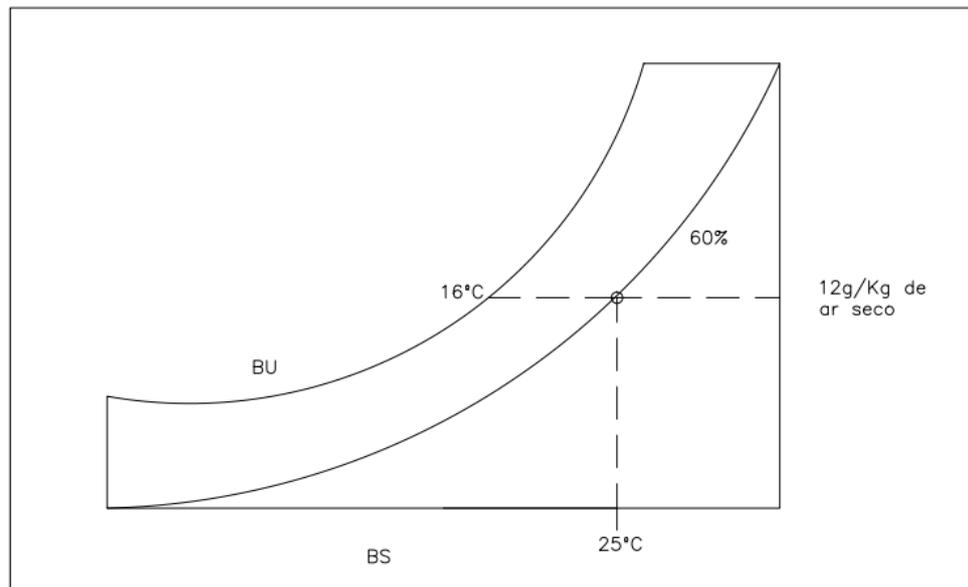
$$PT = \sum P \quad (5)$$

Deve ser feito um cálculo de potência total para cada vazão utilizada, a partir da maior potência gerada pelo sistema encontrar o consumo mensal, a quantidade e o retorno final que apresenta o emprego de painéis solares.

### **Resultados e Discussões**

A Consideração da umidade relativa do ar e a temperatura ambiente no local do experimento é um elemento indispensável no projeto de desumidificação, para obtenção de água através da condensação.

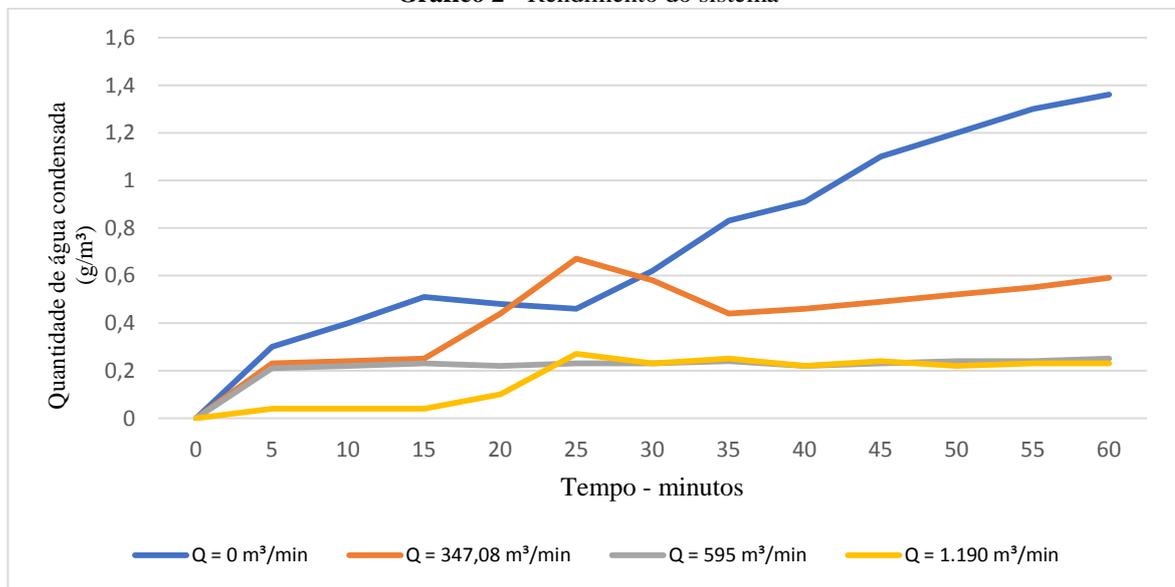
**Gráfico 1 - Ponto de Orvalho**



Fonte - Os Autores

Como apresentado no Gráfico 1, variáveis demonstrando as propriedades do ar que levou a retirar da carta psicrométrica que para uma certa temperatura e umidade coletadas no decorrer do experimento, de respectivamente 25°C e 60%, encontra para estas condições a analisando a linha de saturação com a temperatura de bulbo úmido(BU), um ponto de orvalho de 16 °C e abaixo deste valor a condensação ocorrerá. O Gráfico 2 demonstra o rendimento do sistema a partir dos dados coletados. [3,10].

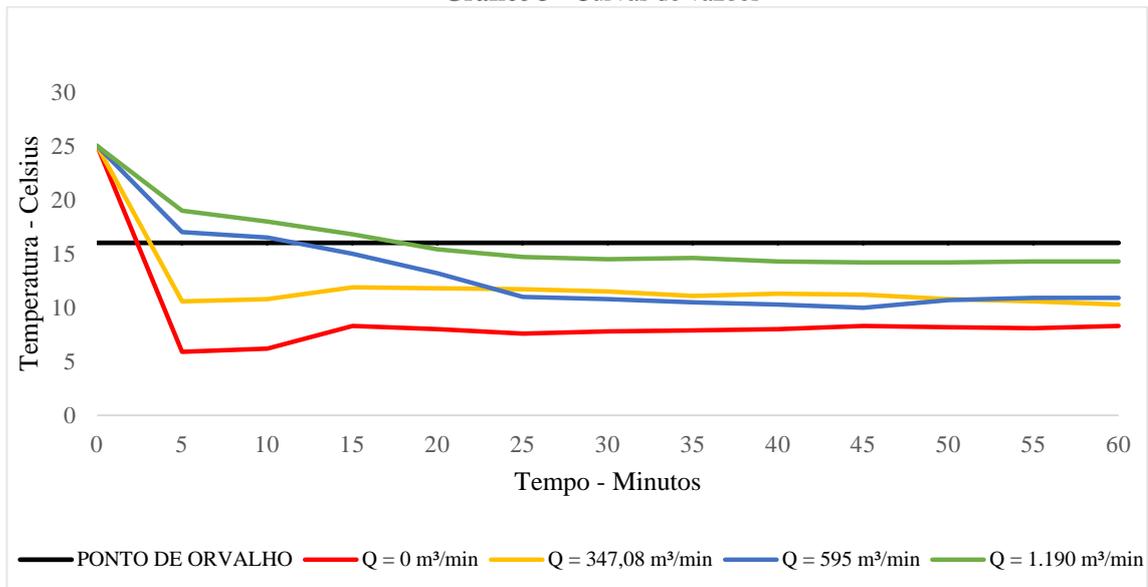
**Gráfico 2 - Rendimento do sistema**



Fonte - Os Autores

O rendimento do sistema se encontra através do tempo de funcionamento do mesmo pela quantidade de água condensada (g/m³) gerada ao decorrer da vazão do ventilador, o tempo estabelecido é de uma hora com intervalo de cinco minutos para coleta dos dados, com este período pode-se multiplicar a quantidade gerada caso o sistema fique em trabalho durante o dia, onde se tem radiação solar. Cada vazão(Q) representa uma tensão utilizada, nota-se que quanto maior for a tensão aplicada no ventilador axial que simultaneamente aumentará a vazão, menor será o rendimento.

**Gráfico 3 - Curvas de vazões**



**Fonte - Os Autores**

A quantidade de água gerada por minuto leva a questionar a relação do fluido que escoar pelas aletas no interior do sistema, as vazões mostradas no gráfico 3 que foi utilizada para o rendimento, também forneceu a relação de resfriamento por tempo de funcionamento. É mostrado juntamente com as vazões, a temperatura que foi diminuindo com o tempo, chegando assim na melhor condição de trabalho.

**Tabela 1- Potência, pastilhas e coolers**

Dados	Célula Peltier	Coolers
Tensão máx. (V)	14,7	12
Corrente máx. (A)	5	0,35
Potência máx. (W)	147	16,8

**Fonte - Os Autores**

Com a linha de patamar do ponto de orvalho, facilmente é notado a diferença de temperatura em relação a vazão situada.

Os resultados dos cálculos de potência ( $W$ ) são demonstrados na Tabela 2, para se achar a potência ( $P_1$ ) gerada pelas seis pastilhas utilizadas é dada pela fórmula (1), para encontrar a potência ( $P_2$ ) faz-se necessário aplicar a fórmula (3) para os quatro coolers.

**Tabela 2- Potência Total**

Ventilador Axial	Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)	Potência Total (W)
Teste 1	0	0	0,40	163,8
Teste 2	3,5	1,4	0,40	165,2
Teste 3	6,0	2,4	0,40	166,2
Teste 4	12	4,8	0,40	168,6

**Fonte - Os Autores**

Aplicando a fórmula (4) para potência ( $P_3$ ), seguindo pela fórmula (5) de potência total ( $PT$ ), tem-se os resultados da Tabela 2, para o ventilador axial é estabelecido condições diferentes de trabalho partindo de zero, a sucção do ar é aumentada gradualmente até a tensão máxima, simultaneamente os dados da temperatura de entrada, saída e umidade são coletados.

Levando em conta os resultados obtidos pela potência total do sistema, utilizando o maior resultado do estudo de 168,6(W), podendo aplicar a situação de máximo consumo, a radiação solar não é estável durante o dia e altera de acordo com as estações do ano. Conseqüentemente, para se obter o melhor rendimento é necessário orientar o coletor de forma a receber o melhor encontro com raios solares [4,12].

Portanto com o sistema ligado durante 24 horas com reserva energética, teríamos um total de 121Kwh por mês, para potência calculada, o orçamento de quatro painéis solares monocristalinos de 250W com um controlador de corrente e os cabos necessários teve valor financeiro total é elevado em relação aos sistemas convencionais, aproximadamente R\$ 3996,00. Para analisar a quantidade de tempo de retorno do capital investido, o cálculo do preço médio do Kwh de uma tarifa da CELG (Companhia Energética de Goiás) de 2017 com o valor de R\$ 0,73, multiplicado pelo total consumido, chegando a R\$ 88,33 por mês, sendo assim o retorno seria de aproximadamente 3 anos e meio [4,12].

O projeto do sistema de desumidificação juntamente com o uso de células termoelétricas de Peltier procurou utilizar materiais de baixo custo, assim fazendo diversos testes para modelos de montagem compactos e com maior rendimento. Materiais como alumínio e aço galvanizado para dissipadores, coolers, ventiladores, levou a construção do sistema. O custo total com os fios para ligação dos elementos eletrônicos ficou em um total de R\$ 412,10 como mostra a Tabela 3, podendo aumentar ou diminuir de acordo com o local de compra dos mesmos, independentemente do valor da aplicação solar.

**Tabela 3 - Orçamento**

Material	Quantidade ( un./m)	Valor Unitário (R\$)
Células Peltier	8	15,50
Dissipadores	2	33,80
Coolers	4	10,00
Pasta Térmica	1	35,00
Ventilador	1	10,00
Coifa	1	30,00
Dissipador chapa de aço galvanizado	1	30,00
Termômetro Digital	3	16,50
Válvula de Esfera 1/2"	1	18,00
Cabos 1,5mm	5	8,00
<b>Valor Total</b>		<b>412,10 R\$</b>

**Fonte - Os Autores**

A espessura do dissipador é de grande importância, o lado quente deve ser de maior espessura, assim ter uma área maior de troca, aquecendo lentamente enquanto as ventoinhas os refrigeram. O lado frio deve ter uma espessura menor, facilitando a refrigeração das aletas do dissipador interno com um processo mais rápido.

A transformação do efeito Peltier em células para uso cotidiano foi um grande avanço tecnológico, o fato de não ter partes móveis, ser compacto, e não ter ruídos, leva a diversas pesquisas para sua utilização, porém é preciso estudar formas para resultar em boa dissipação e busca de materiais com maiores eficiências térmicas. A célula Peltier em geral tem uma vida útil longa com os cuidados adequados.

Essa tecnologia pode colaborar para o desenvolvimento sustentável, integrando fontes de energias renováveis em sua operação, a realização de cálculos de potência total do sistema mostra que o teste 1 da tabela 2 teve o menor consumo e o melhor desempenho, um consumo

de 163,8(W), no entanto foi utilizada a potência maior constatada no experimento de 168,6(W) para avaliar o estudo de aplicação de painéis solares fotovoltaicos.

## Conclusão

O estudo do ponto de orvalho é fundamental, podendo verificar o momento em que o sistema começa a condensação, o fato do ventilador de sucção do ar atmosférico desligado alcançar menores temperaturas e um melhor rendimento, notasse uma problematização. A convecção forçada faz com que as paredes internas do dissipador aqueçam com a passagem do ar aumentando sua temperatura e assim influenciando no rendimento. Soluções viáveis para esta situação, é uma sucção menor em locais de baixa corrente de ar ou uma sucção natural em locais com maior corrente de ar.

Outro possível recurso é a alteração de alguns materiais, no estudo para a montagem do sistema no lado frio das células Peltier foi utilizado como dissipador interno o material de aço galvanizado  $k = 63,9 \text{ W/m-K}$ , porém algumas pesquisas demonstram que com a utilização do alumínio o sistema alcançaria temperaturas inferiores por ser um material com maior condutividade térmica  $k = 240 \text{ W/m-K}$ , o alumínio se adequa ao projeto com um melhor custo benefício. O cobre ( $k = 401 \text{ W/m-K}$ ) também aumentaria o rendimento, porém o valor do projeto ficaria muito mais alto por ser um material de custo mais elevado [13].

O custo total para a implementação dos painéis resultou em um valor elevado para um projeto que busca acessibilidade em diversas condições sociais, analisando o preço foi previsto que o retorno seria em aproximadamente 3 anos e meio de utilização e sem degradação do meio ambiente.

Após as bases mostradas neste artigo, nota-se que é um projeto viável para residências, um sistema compacto onde testes, melhorias e estudos mais profundos devem ser continuados, pois casos extremos como locais de difícil acesso e regiões semiáridas, a coleta de água através da condensação é uma possível opção para obtenção de água.

## Referências

- [1] MARENGO J. A. et al. **Água e mudanças climáticas**. São Paulo, SP. Julho, 2008.
- [2] PERLMAN, H. (Usa). **The Usgs Water Scienc School (Ed.)**. The World's Water: Water, water, everywhere. 2016.
- [3] CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 316 p.
- [4] CREDER, Hélio. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2006. 316 p.
- [5] HABEEBULLAH, B.A. (2009) **Potential use of evaporator coils for water extraction in hot and humid areas**. Desalination, v. 237, p. 330-345.
- [6] SILVA, G. & SOUSA, F.A.S. (2009) **Estudo da viabilidade da produção de água a partir do resfriamento do ar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 5, p. 575-580.
- [7] MUSELLI, M.; BEYSENS, D.; MILIMOUK, I. (2006) **“A comparative study of two large radiative dew water condensers”**. Journal of Arid Environments, v. 70, n. 64, p. 54-76.
- [8] Piedade, P. M. (1997). **Efeitos Termoelétricos e suas aplicações. Aquisição e Processamento de Sinais**. IST - Lisboa.
- [9] PINDADO, R. H. (2008) **“Climatización Mediante Células Peltier”**. ProyectoFin De Carrera, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Septiembre de 2008.
- [10] GATLEY, Donald P. **Understanding Psychrometrics**. 3. ed. Atlanta: Ashrae, 2013. 381 p.

- [11] HENKER, Eliezer et al. **Água potável com desumidificação do ar e energia solar: adaptação ao stress hídrico no RS.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 19, n. 3, p.345-352, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014019000000741>.
- [12] PINHO, João Tavares; GALDINO, Marcos Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-cresesb, 2014. 530 p.
- [13] INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P.; BERGMAN, T. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.