

# ANÁLISE DA INICIALIZAÇÃO DE UM COLETOR DE TUBO DE VIDRO EVACUADO COM HEAT PIPE USANDO BANCADA INDOOR

**Crisciele Ferreira** (UFRGS) - crisciele.santos@ufrgs.br

**Crissiane Alves Ancines** (UFRGS) - crissianeaa@gmail.com

**Humberto Alejandro Rolon ortiz** (Ufrgs) - humberto.rolon@ufrgs.br

**Arno Krenzinger** (UFRGS) - arno.krenzinger@ufrgs.br

## **Resumo:**

*O uso de coletores solares térmicos podem resultar na economia de energia elétrica ou redução no consumo de GLP. No Brasil a maioria dos sistemas para aquecimento solar da água são os coletores de placa plana. No entanto os coletores de tubo de vidro evacuado apresentam como vantagem em relação aos coletores de placa plana a redução das perdas térmicas para o ambiente por transferência de calor através da condução e da convecção, o que resulta em um desempenho melhor quando aplicado em regiões mais frias. Além disso, o uso de coletores solares com tubo de vidro evacuado com heat pipe podem apresentar um melhor desempenho que o coletor de tubo de vidro evacuado com transferência direta. No presente trabalho avalia-se o desenvolvimento da temperatura na seção evaporativa do heat pipe, bem como o comportamento do mesmo em relação ao período inicial de funcionamento do sistema, já que este pode influenciar no desempenho do coletor. Assim, testes foram realizados para as temperaturas da água circulando no condensador de 25°C, de 29°C e de 40°C e para as potências entregue no evaporador de 45W, de 55W e de 70W em um único tubo. Para tal avaliação foi realizada a montagem de uma bancada para testes indoor, em que um aquecedor elétrico resistivo foi utilizado para simular a incidência solar em um tubo de vidro com heat pipe e um banho térmico foi utilizado para controlar a temperatura da água circulando no cabeçote. Através dos testes realizados identificou-se uma correlação na redução do tempo de inicialização em relação ao aumento da temperatura da água circulando no condensador. Além disso, o aumento da potência dissipada para 70W resultou em uma redução da inicialização em 5 min se comparado à potência de 45W.*

**Palavras-chave:** *Energia Térmica Solar, Coletor Solar de Tubo Evacuado, Heat Pipe*

**Área temática:** *Conversão Térmica com coletores planos*

**Subárea temática:** *Ensaio e Instrumentação para análise de conversão térmica*

# ANÁLISE DA INICIALIZAÇÃO DE UM COLETOR DE TUBO DE VIDRO EVACUADO COM *HEAT PIPE* USANDO BANCADA *INDOOR*

**Crisciele Ferreira dos Santos** – criscieleferreira@gmail.com

**Crissiane Alves Ancines** – crissianeaa@gmail.com

**Humberto Alejandro Rolon Ortiz** – alejoro1586@gmail.com

**Arno Krenzinger** – arno.krenzinger@ufrgs.br

Laboratório de Energia Solar, PROMEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## 2.2. Sistemas solares térmicos: aquecimento de água, espaço e refrigeração

**Resumo.** *O uso de coletores solares térmicos podem resultar na economia de energia elétrica ou redução no consumo de GLP. No Brasil a maioria dos sistemas para aquecimento solar da água são os coletores de placa plana. No entanto os coletores de tubo de vidro evacuado apresentam como vantagem em relação aos coletores de placa plana a redução das perdas térmicas para o ambiente por transferência de calor através da condução e da convecção, o que resulta em um desempenho melhor quando aplicado em regiões mais frias. Além disso, o uso de coletores solares com tubo de vidro evacuado com heat pipe podem apresentar um melhor desempenho que o coletor de tubo de vidro evacuado com transferência direta. No presente trabalho avalia-se o desenvolvimento da temperatura na seção evaporativa do heat pipe, bem como o comportamento do mesmo em relação ao período inicial de funcionamento do sistema, já que este pode influenciar no desempenho do coletor. Assim, testes foram realizados para as temperaturas da água circulando no condensador de 25°C, de 29°C e de 40°C e para as potências entregue no evaporador de 45W, de 55W e de 70W em um único tubo. Para tal avaliação foi realizada a montagem de uma bancada para testes indoor, em que um aquecedor elétrico resistivo foi utilizado para simular a incidência solar em um tubo de vidro com heat pipe e um banho térmico foi utilizado para controlar a temperatura da água circulando no cabeçote. Através dos testes realizados identificou-se uma correlação na redução do tempo de inicialização em relação ao aumento da temperatura da água circulando no condensador. Além disso, o aumento da potência dissipada para 70W resultou em uma redução da inicialização em 5 min se comparado à potência de 45W.*

**Palavras-chave:** *Energia Térmica Solar, Coletor Solar de Tubo Evacuado, Heat Pipe*

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou, em 2017, uma participação de 42,9% de energias renováveis na sua matriz energética, tais como fontes hidráulicas, biomassa de cana, e outras fontes como eólica e solar que apresentam um crescimento nos últimos anos (Empresa de Pesquisa Energética, EPE, 2018a). Com o crescimento da população, aumento da renda das famílias e desenvolvimento econômico do país, aumenta também o consumo de energia tanto industrial quanto residencial. Conforme um estudo da demanda do Plano Nacional de Energia -PNE 50- é possível prever a expansão do setor elétrico, bem como estimar o crescimento no consumo de energia de diferentes setores, como por exemplo do residencial, em que se aponta um aumento de 1,2% a 1,7% ao ano até 2050 (EPE, 2018b).

A energia elétrica além de ser utilizada para o funcionamento de eletrodomésticos, também é muitas vezes aplicada para o aquecimento de água doméstica. A energia utilizada para aquecimento e resfriamento doméstico contribuí em aproximadamente 50% do consumo total de energia (REN21,2018). Outras fontes de energia utilizada para o aquecimento de água são o GLP e o gás natural, os quais também apresentam um crescimento conforme as projeções indicadas pela EPE, 2018b. Portanto uma opção para reduzir o consumo elétrico ou a utilização de GLP no aquecimento residencial seria a utilização de um sistema de aquecimento solar.

Um sistema solar de aquecimento de água é utilizado para converter a radiação solar em energia térmica útil. Alguns tipos mais comuns são os coletores de placas planas, os coletores de tubos de vidro evacuados e os coletores sem cobertura, para aquecimento de água de piscina. Num panorama mundial, em 2017, os coletores de tubo de vidro evacuado apresentaram a maior parcela da capacidade total instalada em operação, seguido dos coletores de placa plana e por fim os coletores sem cobertura (International Energy Agency-IEA, 2019). O Brasil se encontra entre os dez países que lideram o uso de coletores solares para aquecimento de água apresentando, em 2017, uma capacidade acumulada de 10,411 MW, sendo a maior parcela desta potência térmica acumulada referente ao uso de coletores do tipo placa plana (IEA, 2019).

O coletor de tubo de vidro evacuado é formado por um conjunto de tubos de vidro que são encaixados em um cabeçote por onde a água escoar ou podem ser encaixados diretamente em um tanque reservatório de água. Os tubos de vidro são fabricados com dois tubos concêntricos que apresentam vácuo entre eles, e na superfície externa do tubo de vidro interno deposita-se uma cobertura seletiva com alta absorvidade e baixa emissividade (Morrison *et. al.*, 2004). A

transferência de calor pode ocorrer diretamente para água quando o *design* do coletor permite que a água entre em cada tubo de vidro, ou pode ocorrer indiretamente no caso de coletores de tubo de vidro com *heat pipe*.

Os coletores de tubo de vidro evacuado apresentam como vantagem em relação aos coletores de placa plana a redução das perdas térmicas para o ambiente por transferência de calor através da condução e da convecção. Além disso, conforme apontado por Rosa *et. al.* (2013) os coletores com isolamento à vácuo apresentam um rendimento melhor em regiões mais frias, durante o inverno. Esse comportamento é também confirmado por Zambolin e Del Col (2010) que apresentam resultados que indicam a maior sensibilidade do coletor de placas planas à diferença entre a temperatura média do fluido e a temperatura ambiente se comparado ao coletor de tubo de vidro evacuado. Ayompe *et. al.* (2011) estudaram o desempenho de um coletor de tubo de vidro evacuado com *heat pipe* e o compararam a um coletor de placa plana encontrando uma eficiência média anual de 60,7% e 46,1% respectivamente para cada coletor.

Morrison *et. al.* (2004) investigaram numericamente o comportamento da circulação da água dentro de um coletor solar de tubo de vidro de transferência direta, em que a água entra em contato direto com o vidro em cada tubo para que ocorra a transferência de calor, e identificaram a presença de uma região de estagnação no fundo do tubo de vidro que pode influenciar na operação do sistema, além disso apontam que esse tipo de coletor solar só pode operar a baixa pressão, o que limita sua aplicação.

Hayek *et al.* (2011) mostram através de uma investigação experimental, que a aplicação de um coletor de tubo de vidro evacuado com *heat pipe* resultou em um aumento na eficiência total de 15 a 20% se comparada ao coletor de tubo de vidro evacuado com transferência direta. O uso de *heat pipes* em coletores solares apresenta como vantagens a baixa resistência térmica imposta ao sistema, a possibilidade de um fluxo uniforme do fluido a ser aquecido, e uma superfície para absorção de calor quase isotérmica, além disso são dispositivos confiáveis, sem partes móveis e que apresentam durabilidade enquanto em operação (Rassamakin *et. al.*, 2013). Outros pontos positivos são que podem operar em alta pressão, não congelam, possuem um tempo de inicialização (*start-up*) baixo, são resistentes a choque térmico e devido ao seu design permitem uma instalação fácil e manutenção mais simples em caso de avaria dos tubos, já que se algum tubo quebrar a água não será esgotada, nem desperdiçada (Zinian *et. al.*, 1997).

Conforme apontado por Zhao *et. al.* (2018) o período de inicialização do *heat pipe* afeta o desempenho global do coletor de tubo de vidro evacuado, principalmente porque este está sujeito a variações na incidência de radiação solar e também a potências baixas incidindo sobre o coletor. Portanto, o presente trabalho apresenta um estudo experimental do comportamento do *heat pipe* quanto ao desenvolvimento da temperatura ao longo do comprimento do evaporador e do seu tempo de inicialização, levando em consideração diferentes temperaturas da água circulando no cabeçote principal onde ocorre a transferência de calor do condensador para a água e também diferentes potências elétricas dissipadas na seção evaporativa do *heat pipe*.

## 2. COLETOR DE TUBO DE VIDRO EVACUADO COM HEAT PIPE

O *heat pipe* é um tubo selado metálico, geralmente de cobre, que tem em seu interior um fluido de trabalho. Esse fluido aumenta de temperatura até evaporar na seção evaporativa, que é a região que fica no interior do tubo de vidro em contato com a aleta metálica que o envolve para aumentar a área superficial para transferência de calor. O vapor sobe para seção condensativa que fica inserida no receptor do cabeçote, nesta região a água escoar entre os receptores e ocorre a transferência de calor do *heat pipe* para a água, logo o fluido de trabalho condensa e volta para a seção evaporativa, e o ciclo continua enquanto houver uma fonte de calor sobre o evaporador (Abd-Elhady *et. al.*, 2018).

Assim, três seções distintas podem ser classificadas: a seção de absorção de calor ou evaporativa, a seção adiabática e a seção de entrega de calor ou condensativa (Kutz, 2006). No esquema apresentado na Fig. 1 é possível observar o detalhamento da parte interna da seção do cabeçote do coletor de tubo de vidro evacuado, também apresentam-se os principais componentes deste tipo de coletor solar.

Nikolayev (2016) analisou a inicialização de um *pulsating heat pipe* (PHP) e observou que a inicialização deste *heat pipe* é independente das propriedades do filme de líquido. Além disso, concluiu que o critério para inicialização está correlacionado ao gradiente de temperatura ao longo do tubo do *heat pipe* e também correlacionado à potência entregue no evaporador. O autor não identificou uma relação da inicialização do *heat pipe* com a temperatura do condensador. Ji *et. al.* (2017), no entanto, estudaram as características de transferência de calor e inicialização de um PHP com diferentes tipos de malhas internas e identificaram que a inicialização foi afetada pela razão de preenchimento do *heat pipe*, pela potência dissipada no evaporador, pelo ângulo de inclinação e pelos parâmetros geométricos da malha.

Yang *et. al.* (2019) estudaram as características operacionais de um *heat pipe* de placa plana experimentalmente e identificaram um bom desempenho da inicialização deste *heat pipe* com receptor plano, além disso foi desenvolvido um modelo capaz de prever a tendência da temperatura no *heat pipe* de acordo com o tempo que se encontrava o processo de inicialização.

## 3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes foram realizados em uma bancada experimental *indoor* utilizando-se a própria estrutura de coletor de tubo de vidro evacuado com *heat pipe*. Esta apresenta um cabeçote com um tubo principal para o escoamento da água onde são transpassados 15 receptores, nos quais são inseridas as seções condensadoras dos *heat pipes*. O cabeçote também apoia os tubos de vidro, e completa uma estrutura metálica que pode ser inclinada conforme a necessidade, tal

como ilustrado no desenho esquemático apresentado na Fig. 2. Para a análise do comportamento do *heat pipe* foi utilizado apenas um tubo de vidro com *heat pipe*.

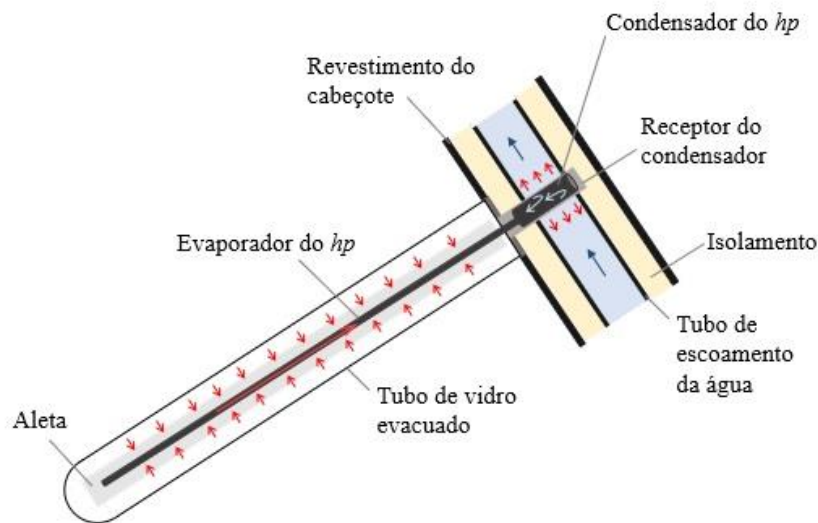


Figura 1 – Detalhamento do coletor solar de tubo de vidro evacuado com *heat pipe*.

Para poder avaliar o desenvolvimento da operação do *heat pipe*, quando este é submetido a uma determinada incidência solar, utilizou-se uma resistência elétrica formada por fios de aquecimento encapados com Teflon® e inseridos junto à aleta metálica que envolve o *heat pipe*, conforme mostrado na Fig. 3. A potência foi entregue através de uma fonte de tensão estabilizada, garantindo a possibilidade de regular a taxa de potência entregue em cada ensaio. Além disso, ao longo da seção evaporativa do *heat pipe* foram soldados sete sensores de temperatura do tipo termopar de cobre-constantan sendo estes denominados como “SHP1”, “SHP2”, “SHP3”, “SHP4”, “SHP5”, “SHP6” e “SHP7”, conforme indicado na Fig. 2.

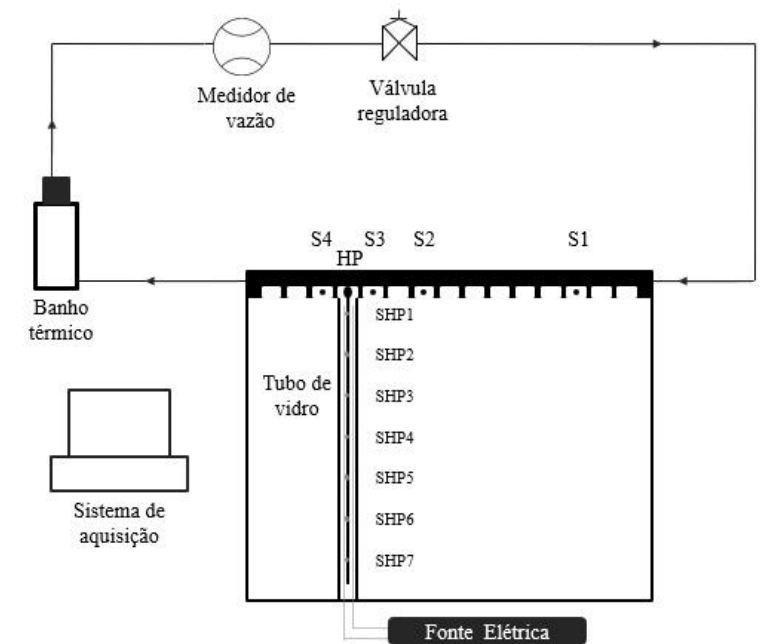


Figura 2 – Desenho esquemático da bancada experimental.

O controle da temperatura da água circulando no cabeçote foi realizado utilizando-se um banho térmico, e a vazão foi regulada através de uma válvula de restrição e foi medida através de um medidor de vazão magnético. Para a aquisição de dados da bancada foram utilizados um equipamento digital da Keysight Technologies e um computador. Os sensores de temperatura apresentam incerteza de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Os testes foram realizados para uma inclinação do coletor de  $30^\circ$  e temperaturas da água circulando no cabeçote de  $25^\circ\text{C}$ , de  $29^\circ\text{C}$  e de  $40^\circ\text{C}$ . As potências elétricas dissipadas foram em torno de 30W, de 45W, de 55W e de 70W, escolhidas a partir da consideração da quantidade de irradiação solar que poderia incidir em um tubo do coletor. Cada teste foi executado por um tempo suficiente até que as temperaturas atingissem o estado estacionário. Esse estado foi

estabelecido de modo que não houvesse variações de medidas do sensor de temperatura maiores que  $0,05^{\circ}\text{C}$ . Os dados de temperatura, de vazão, de tensão e de corrente foram coletados automaticamente em intervalos de 10 segundos.



Figura 3 – Detalhe da resistência elétrica, da aleta metálica, e do condensador do *heat pipe*.

#### 4. RESULTADOS

Conforme indicado na Fig. 2, “SHP1” indica o sensor de temperatura localizado na seção evaporativa que está mais próxima do condensador do *heat pipe*, enquanto “SHP7” refere-se ao sensor de temperatura mais distante. Na Fig. 4 são apresentados os resultados obtidos para diferentes temperaturas da água circulando no cabeçote para uma potência entregue no evaporador de aproximadamente 30W. Inicialmente apenas ocorre a circulação da água para homogeneização da temperatura da água na bancada, o que indica a temperatura inicial constante. Na Fig. 4c o sensor “SHP1” apresenta um aumento da temperatura já que a água circulado neste caso está bem acima da temperatura ambiente e ocorre a transferência de calor por condução no cobre que é percebida nesta região.

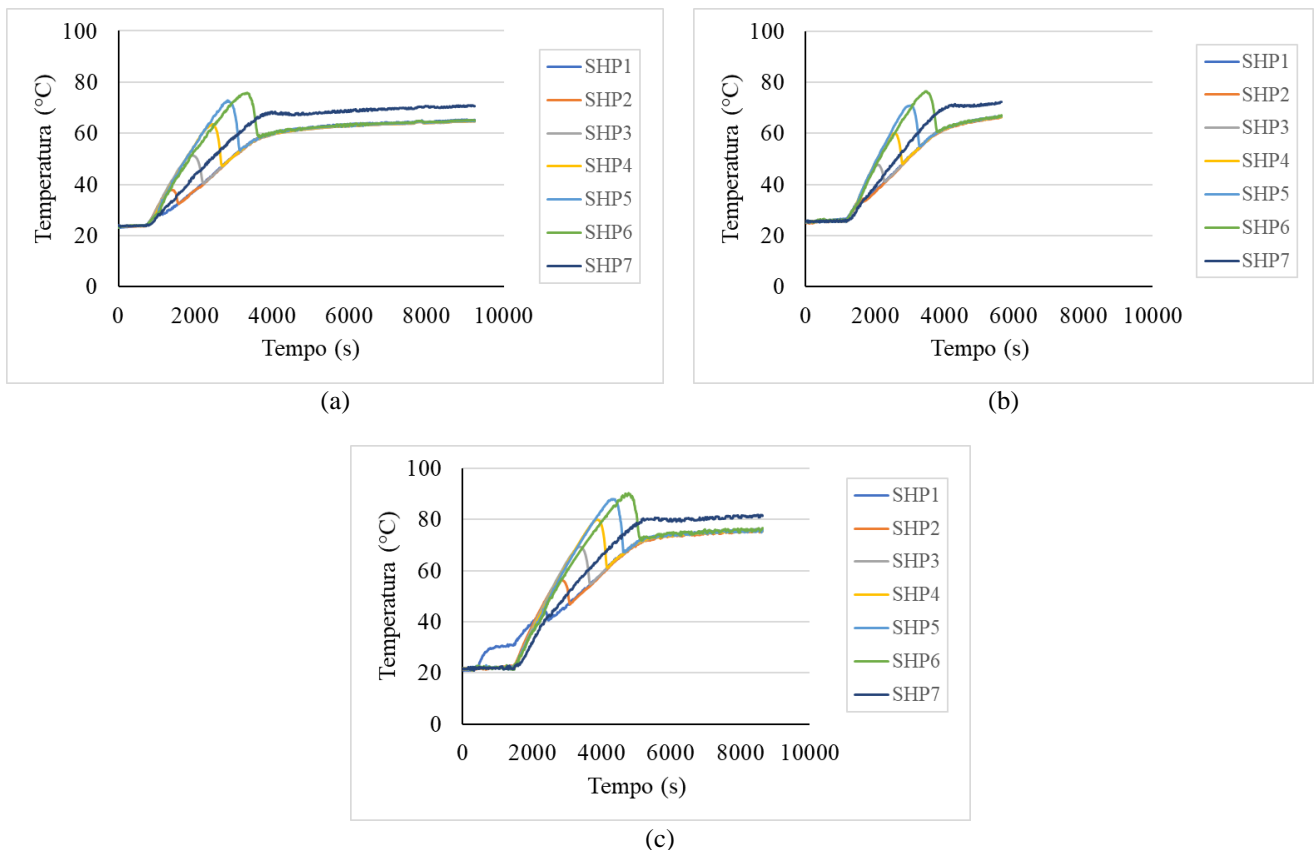


Figura 4 – Desenvolvimento da inicialização do *heat pipe* para temperaturas da água de:  $25^{\circ}\text{C}$  (a),  $29^{\circ}\text{C}$  (b) e  $40^{\circ}\text{C}$  (c).

Após ligar a fonte de tensão é possível observar que ocorre um aumento de temperatura gradual ao longo do evaporador, esse aumento se desenvolve por um período de tempo até que haja estabilização e o regime permanente se instale. Este intervalo no qual ocorre esse aumento de temperatura é denominado inicialização do *heat pipe* e seu fim é delimitado pela inflexão da curva. Zhao *et. al.* (2018) encontraram um comportamento parecido ao estudar o desempenho de um *heat pipe* com nanofluido como fluido de trabalho.

Na Fig. 5 são apresentados os resultados obtidos para diferentes potências dissipadas na seção evaporativa do *heat pipe* e temperatura da água circulando no cabeçote de 25°C. Analisando o perfil do aumento de temperatura presente nas Figs. 4 e 5 é possível identificar, baseando-se no estudo de Zhao *et. al.* (2018) que inicialmente todo o *heat pipe* encontra-se a uma temperatura uniforme e constante, já que não há dissipação de energia no evaporador. Conforme ocorre a transferência de calor desenvolve-se o aumento gradual de temperatura ao longo do *heat pipe*. Esse aumento ocorre do começo do processo de transferência de calor para o fluido de trabalho no interior do *heat pipe* que começa a aumentar de temperatura até que haja a troca de fase. O vapor formado sobe até o condensador devido à pressão de vapor resultante, condensando e liberando seu calor latente na água mais fria que circula no entorno deste. A seguir o líquido condensado desce pela atuação da gravidade de volta ao evaporador resultando na inflexão da curva devido à temperatura do condensado ser menor que a temperatura do vapor.

É possível identificar que com o passar do tempo esse líquido condensado começa a chegar a distâncias maiores ao longo do comprimento do evaporador, ou seja, inicialmente o condensado entra em contato com a superfície do evaporador em que está alocado o sensor “SHP1” e “SHP2” o que resulta em uma curva com uma inflexão muito sutil, com o passar do tempo, o condensado escoia até chegar ao sensor “SHP3”, porém em um primeiro momento a massa de condensado é tal que este vaporiza antes de chegar ao sensor “SHP4”. Com o desenvolvimento da transferência de calor, uma massa maior de líquido no evaporador vai vaporizando e ascendendo ao condensador, o que permite uma massa maior de condensado retornar ao evaporador. Consequentemente essa massa percorre distâncias maiores, sem evaporar, até que atinja o sensor de temperatura subsequente, no tempo indicado pela queda de temperatura. Com o desenvolvimento da transferência de calor é possível observar que a temperatura do líquido condensado vai aumentando gradualmente, e a massa de líquido de trabalho vaporizado também vai aumentando, permitindo uma massa maior de condensado “molhar” distâncias maiores na seção evaporativa do *heat pipe*. O sensor de temperatura “SHP7”, por estar localizado na parte mais inferior do evaporador, apresenta um perfil de temperatura diferente dos outros sensores. Uma explicação provável é que esse sensor foi instalado em uma localização em que o condensado não “molha” a sua superfície, além disso é provável que nesta região ocorra apenas a presença da piscina de líquido, já que este é o sensor de temperatura que indicou as maiores temperaturas registradas.

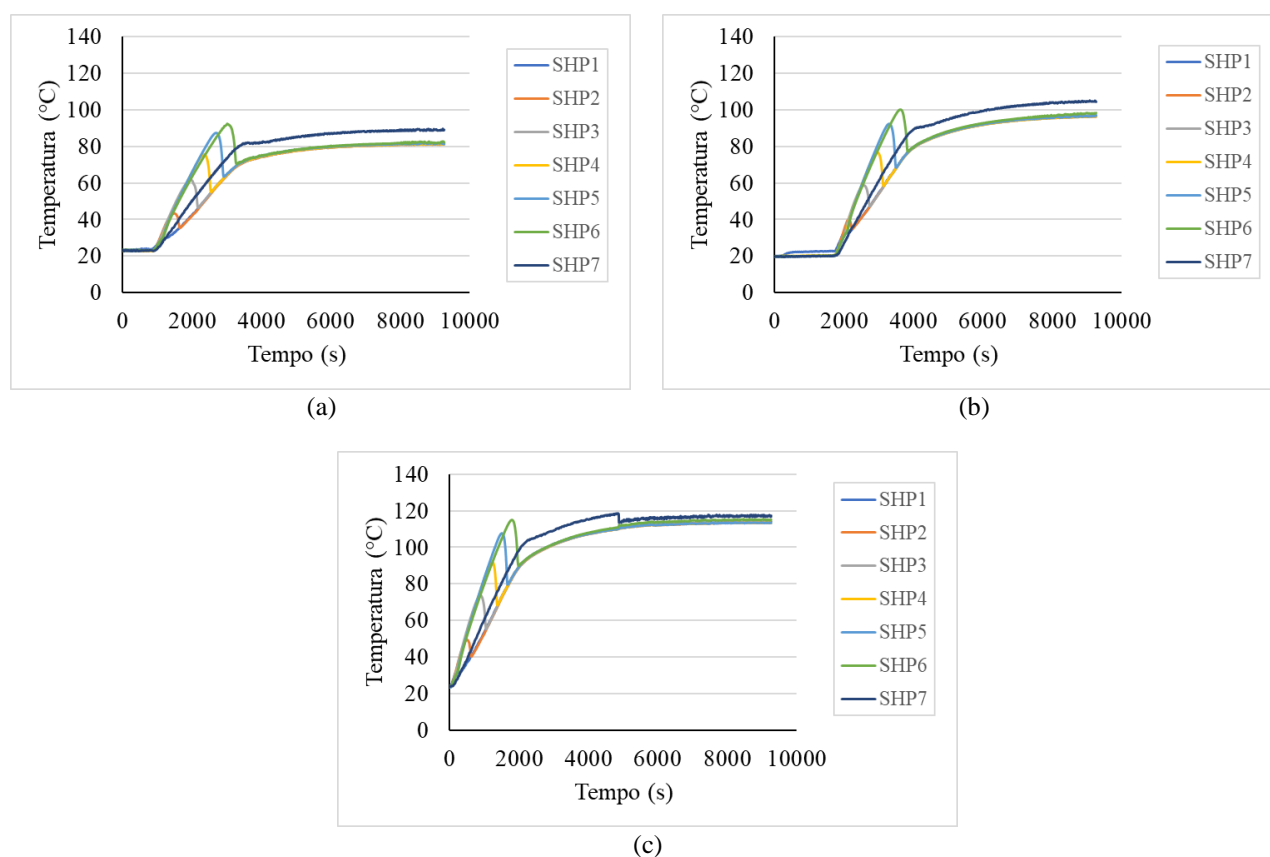


Figura 5 – Desenvolvimento da inicialização do *heat pipe* para potências de: 45W (a), 55W (b) e 70W (c).

Na Tab. 1 são apresentados os resultados da temperatura máxima ( $T_{MÁX}$ ) e tempo de inicialização obtidos a partir da Fig. 4 para o sensor “SHP6”. A  $T_{MÁX}$  ocorre no ponto de inflexão da curva e apresentou uma correlação direta

com o aumento de temperatura da água circulando no condensador. Além disso, foi possível observar que para a temperatura de 40°C a inicialização do *heat pipe* apresentou um tempo de 3280 s, enquanto para as temperaturas da água de 25°C e de 29°C houve uma diferença de aproximadamente 4 minutos no tempo da inicialização. Contudo houve uma diferença no tempo de inicialização para as temperaturas da água de 25°C e de 29°C, se comparadas a temperatura de 40°C, de aproximadamente 10 minutos. Esta análise fica prejudicada tendo em vista a inviabilidade de se manter a mesma potência dissipada e vazão mássica para cada teste, já que as potências foram de 28.8W, de 31.0W e de 30.4W, respectivamente para as temperaturas de 25°C, de 29°C e de 40°C.

Tabela 1 – Temperatura máxima no evaporador e tempo da inicialização do *heat pipe* para uma potência dissipada de aproximadamente 30 W e inclinação de 30°, para diferentes temperaturas da água escoando através do condensador.

TEMPERATURA ENTRADA (°C)	T <sub>MÁX</sub> (°C)	TEMPO (s)
25	75,87	2630
29	76,56	2350
40	90,21	3280

Na Tab. 2 são apresentados os resultados da temperatura máxima (T<sub>MÁX</sub>) e tempo de inicialização obtidos a partir da Fig. 5, também para o sensor “SHP6”, já que este é o sensor que apresenta o maior pico de inflexão da curva. A T<sub>MÁX</sub> ocorre para a potência dissipada no evaporador de 70W, chegando a 114,93°C. Além disso, identificou-se que o aumento da potência dissipada no evaporador resultou em uma redução do tempo de inicialização. Assim a diferença no tempo de inicialização para potência de 45W e 70W ficou em aproximadamente 5 min.

Tabela 2 – Temperatura máxima no evaporador e tempo da inicialização do *heat pipe* para uma temperatura da água escoando através do condensador de 25°C e inclinação de 30°, para diferentes potências dissipadas no evaporador.

POTÊNCIA DISSIPADA (W)	T <sub>MÁX</sub> (°C)	TEMPO (s)
45	92,34	2080
55	100	1860
70	114,93	1790

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou o comportamento de um coletor de tubo de vidro evacuado com *heat pipe* em relação ao desenvolvimento de temperatura na seção evaporativa do mesmo e também em relação ao tempo de inicialização necessário para atingir o funcionamento pleno do sistema. Para tal utilizou-se uma bancada experimental *indoor* com uma fonte de tensão capaz de entregar uma potência estável dissipada em um fio de aquecimento, simulando diferentes valores para a incidência de radiação solar que podem chegar em um único tubo de vidro do coletor. Além disso, foi utilizado um banho térmico para controle de temperatura da água que absorve a energia entregue pelo condensador do *heat pipe*.

Deste modo os testes foram realizados para a inclinação de 30° do coletor para as temperaturas da água de 25°C, de 29°C e de 40°C com uma dissipação de potência no evaporador de aproximadamente 30 W, e para a temperatura da água de 25°C, dissipando no evaporador potências de 45 W, de 55 W e de 70 W. Os resultados apontaram o desenvolvimento da transferência de calor ao longo do tempo, sendo possível determinar a temperatura máxima atingida na superfície da seção evaporativa, e o tempo necessário para estabilização do sistema, ou seja, o tempo de inicialização. Observou-se que o aumento da temperatura da água circulando através do condensador resultou em uma redução no tempo da inicialização de 10 min. O aumento da potência entregue no evaporador resultou em uma redução da inicialização de 5 min. A T<sub>MÁX</sub> aumentou juntamente com aumento na potência dissipada, sendo o maior valor obtido para a potência de 70W. O aumento da temperatura da água circulando no condensador também resultou em um aumento da temperatura máxima na seção evaporativa do *heat pipe*.

O sensor “SHP7” localizado no ponto inferior do *heat pipe*, ou seja, mais distante da seção de condensação apresentou a maior temperatura após a estabilização do sistema, visto que, provavelmente, essa região não entrou em contato com o líquido condensado que retorna do condensador.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

## REFERÊNCIAS

- Abd-Elhady, M. S., Nasreldin, M., Elsheikh, M. N., 2018. Improving the performance of evacuated tube heat pipe collectors using oil and foamed metals. *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 9, n. 4, pp. 2683-2689.
- Ayompe, L. M., Duffy, A., Mc Keever, M., Conlon, M., & McCormack, S. J., 2011. Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. *Energy*, vol. 36, n.5, pp. 3370-3378.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Relatório Síntese, ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018a. Relatório. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Cenários de Demanda para o PNE 2050. Rio de Janeiro, 2018b. Relatório. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>
- Hayek, M., Assaf, J., and Lteif, W., 2011. Experimental investigation of the performance of evacuated-tube solar collectors under eastern mediterranean climatic conditions, *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 618–626.
- International Energy Agency. Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology. Solar Heating Worldwide-Global Market Development and Trends in 2018. Austria, 2019. Disponível em: < <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2019.pdf>>
- Kutz, M., 2006. *Mechanical Engineers' Handbook: Energy and Power*, John Wiley & Sons, 3th edition.
- Morrison, G. L., I. Budihardjo, and M. Behnia., 2004. Water-in-glass evacuated tube solar water heaters, *Solar energy* vol. 76, n.1-3 pp. 135-140.
- Nikolayev, V. S., 2016. Effect of tube heat conduction on the single branch pulsating heat pipe start-up. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 95, pp. 477-487.
- Rassamakin, B., Khairnasov, S., Zaripov, V., Rassamakin, A., & Alforova, O., 2013. Aluminum heat pipes applied in solar collectors. *Solar Energy*, vol. 94, pp. 145-154.
- Rosa, F. N., Manea, T. F., & Krenzinger, A., 2013. Estudo comparativo da utilização de coletores solares planos e tubulares para aquecimento de água, *Revista Brasileira de Energia Solar*, vol. 4, n.2.
- REN21. Renewables 2018. Global Status Report. Relatório. Disponível em: <[http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter\\_01/chapter\\_01/#sub\\_2](http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/#sub_2)>
- Zhao, S., Xu, G., Wang, N., & Zhang, X., 2018. Experimental study on the thermal start-up performance of the graphene/water nanofluid-enhanced solar gravity heat pipe. *Nanomaterials*, vol. 8, n.2, pp. 72.
- Zambolin, E., Del Col, D., 2010. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions, *Solar Energy*, vol. 84, n.8, pp. 1382-1396.
- Zinian, H., Hongchuan, G., Fulin, J., & Wei, L., 1997. A comparison of optical performance between evacuated collector tubes with flat and semicylindric absorbers. *Solar Energy*, vol. 60, n. 2, pp. 109-117.
- Yang, L., Ling, X., Peng, H., Duan, L., & Chen, X., 2019. Starting characteristics of a novel high temperature flat heat pipe receiver in solar power tower plant based of “Flat-front” Startup model. *Energy*, vol. 183, pp. 936-945.

### START-UP ANALYSIS OF AN EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTOR WITH HEAT PIPE USING AN INDOOR BENCH TEST

**Abstract.** *The use of solar thermal collectors may result in energy savings or reduced LPG consumption. In Brazil most systems for solar water heating are flat plate collectors. However evacuated glass tube collectors have the advantage over flat plate collectors in reducing the thermal losses to the environment by heat transfer through conduction and convection which results in better performance when applied in colder regions. In addition, the use of evacuated glass tube collectors with heat pipe may perform better than the direct transfer evacuated glass tube collector. In the present work the temperature development in the evaporative section of the heat pipe, as well as the behavior of the heat pipe in relation to the initial period of operation of the system were evaluated as the start-up may influence the performance of the collector. Thus, tests were performed for the water circulating in the condenser with temperatures of 25°C, of 29°C and of 40°C and different power delivered in the evaporator of 45W, of 55W and of 70W. For this evaluation an indoor test bench was assembled with a stabilized voltage source that was used to simulate the solar incidence in a single heat pipe inside the glass tube. A thermal bath was used to control the temperature of the water circulating in the bench manifold. Through the tests performed a correlation was identified in the reduction of the startup time in relation to the increase of the water temperature circulating in the condenser. Increasing dissipated power to 70W resulted in a 5 min reduction in start-up compared to the 45W.*

**Key words:** *Solar Thermal Energy, Evacuated Glass Tube Solar Collector, Heat Pipe*