

**Proposta conceitual de um módulo  
fotovoltaico híbrido com resfriamento por  
serpentina de água**  
(The Conceptual Proposal of a Hybrid Solar Photovoltaic  
Module with Water Coil Cooling)

Guilherme Zanlorenzi  
**Dr. Anderson Luis Szejka**  
Dr. Teófilo Miguel de Souza

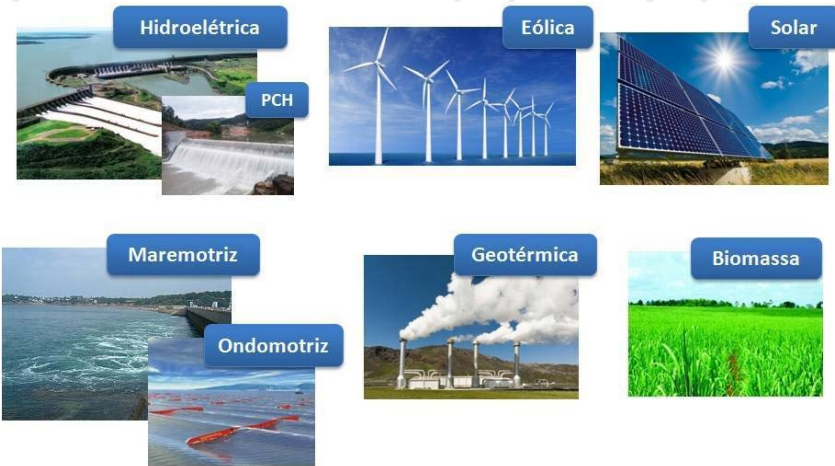
## Introdução

- Atualmente, 81% das fontes energéticas utilizadas no mundo são provenientes de fontes não renováveis, do qual destaca-se principalmente as fontes fósseis (Luo *et al.*, 2016).
- Somente 13% dos recursos energéticos são oriundos de fontes renováveis (Hasanuzzman *et al.*, 2016).



## Introdução

- Dado o cenário global, as energias renováveis são foco de diversas pesquisas no intuito de aprimorar e facilitar o acesso a estas tecnologias.
- A energia solar tem sido destaque de diversas pesquisas na área, devido a sua abundância e em diversas partes do globo (Tiwari et al., 2011).



## Introdução

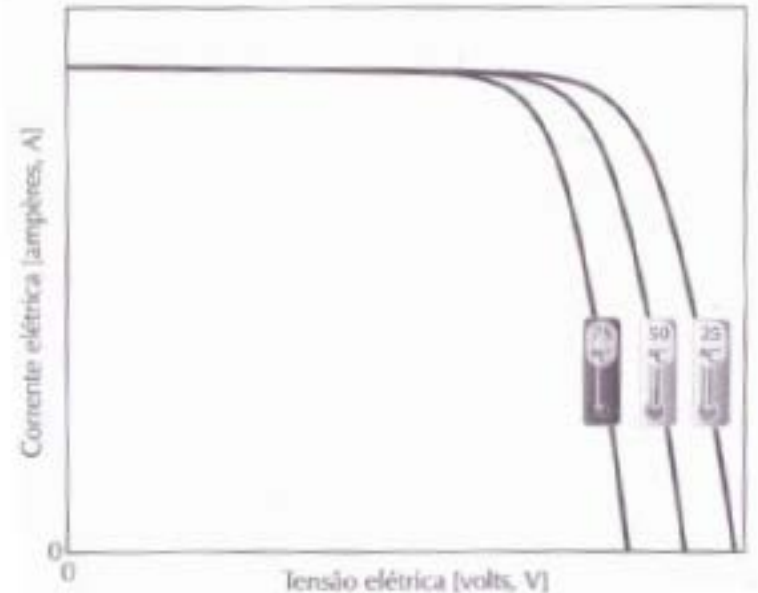
- As tecnologias atuais de conversão da energia solar em energia elétrica, apresentam uma baixa eficiência e um alto custo inicial, tornando o tempo de *payback* razoavelmente longo.
- A eficiência de um módulo fotovoltaico comercial pode atingir até 20% de acordo com o modelo e fabricante (Al-Shamani *et al.*, 2014).



## Problematização

- Devido a baixa eficiência das células fotovoltaicas, elas acabam absorvendo praticamente quatro quintos de toda a energia fornecida pelo sol e esse excedente é absorvido em forma de calor.
- O superaquecimento das células resulta na redução da eficiência do sistema, tornando-o menos atrativo em regiões com elevadas temperaturas

*Influência da temperatura no funcionamento do módulo fotovoltaico*



*Fonte: Villalva e Gazoli, 2013.*



## Problematização

**É possível criar um módulo fotovoltaico híbrido que controle a temperatura de um painel solar comercial elevando a sua eficiência?**

## Objetivo

**Propor um conceitual de um módulo fotovoltaico híbrido com controle de temperatura, para elevar a eficiência na geração solar.**

## Revisão Bibliográfica

- A literatura apresenta que temperatura influencia negativamente nos sistemas fotovoltaicos (Li *et al.*, 2011; Shan *et al.*, 2014).
- Através do coeficiente NOCT (*Normal Operating Cell Temperature*), é possível obter uma estimativa da temperatura do módulo sob diferentes situações de temperatura ambiente e irradiação solar utilizando-se da equação abaixo (Arcuri *et al.*, 2014).

$$T_{mod} = T_{amb} + \frac{(NOCT - 20)}{800} \cdot G$$

Onde:  $T_{mod}$  é a temperatura do módulo,  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente, NOCT é a temperatura fornecida pelo datasheet do fabricante e  $G$  é a irradiação solar.



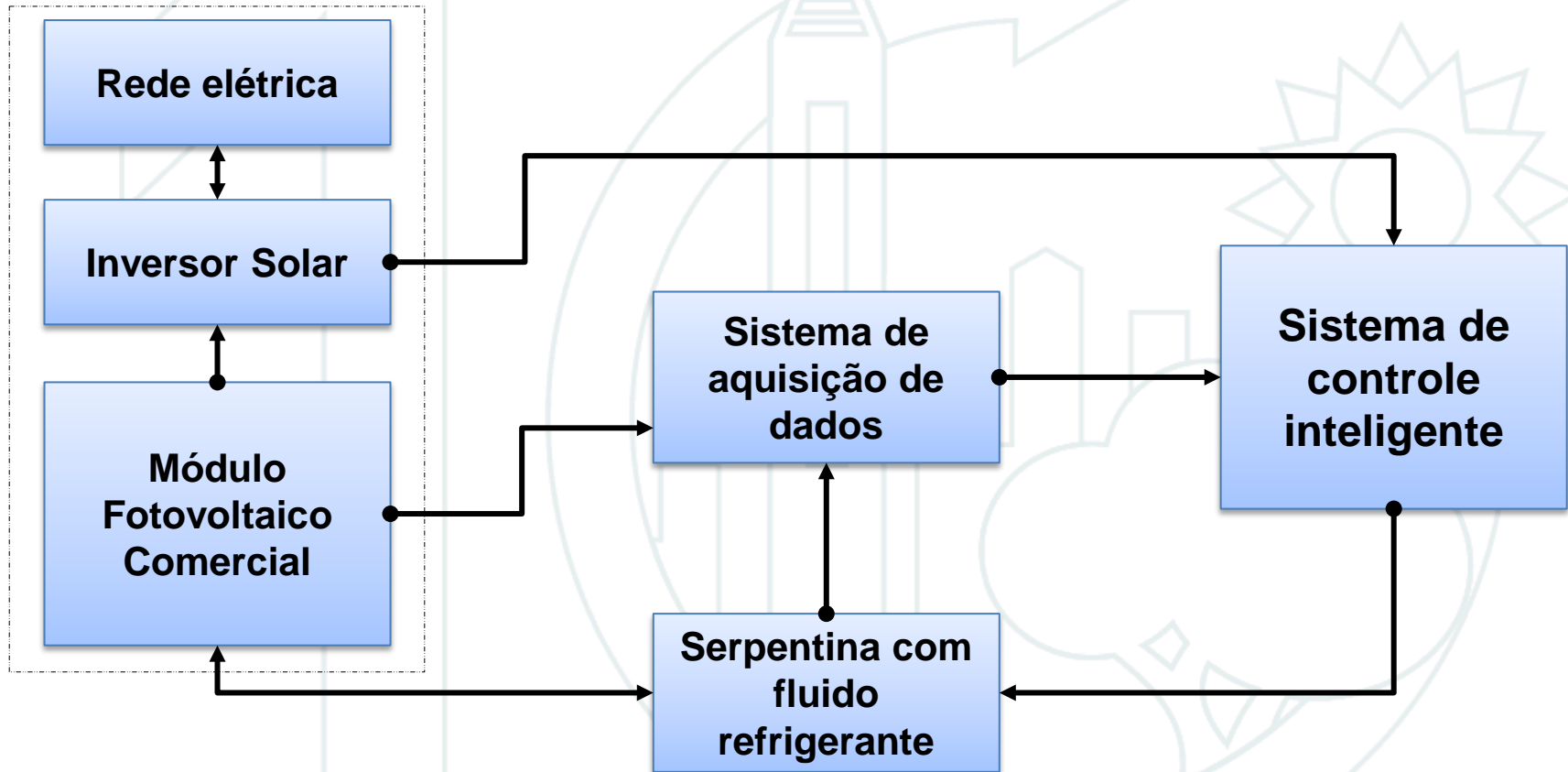
## Revisão Bibliográfica

- A eficiência do módulo é diretamente influenciada pela temperatura da célula e pela irradiação solar e esta pode ser estipulada pela equação abaixo (Wu et al., 2016).

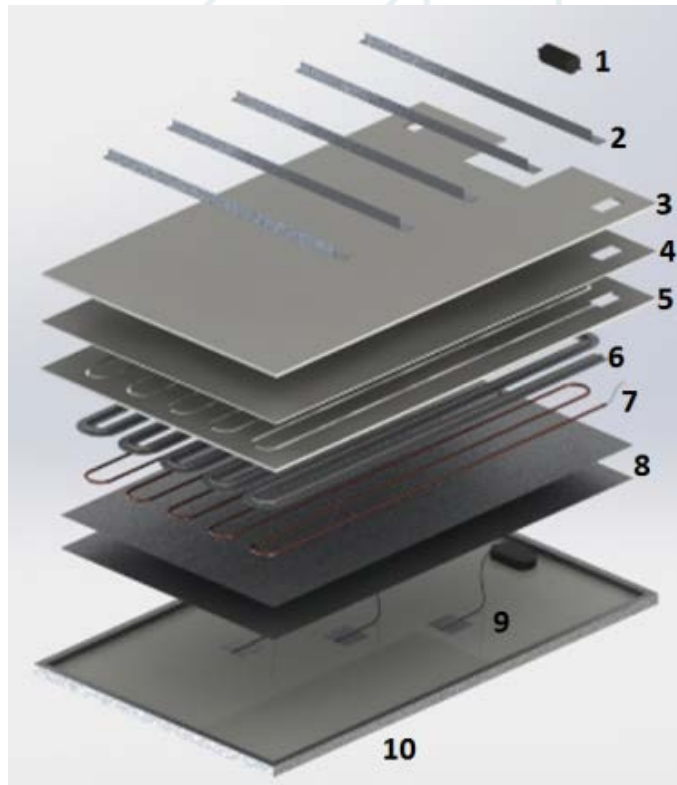
$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{G \cdot A}$$

Onde:  $\eta$  é a eficiência do módulo,  $I_m$  é a corrente do módulo,  $V_m$  é a tensão do módulo,  $G$  é a irradiação solar e  $A$  é a área do módulo.

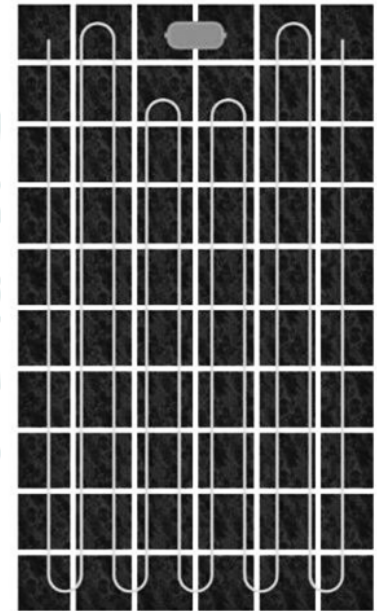
## Proposta conceitual



## Proposta conceitual (Sistema de Resfriamento)



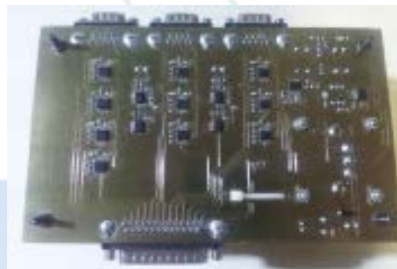
1. Bomba de água;
2. Barras em L de alumínio;
3. Folha de isopor para sustentação (5mm);
4. Folha de isopor para sustentação (10mm);
5. Folha de isopor para o ajuste da serpentina;
6. Lâminas de alumínio para recobrir a serpentina;
7. Serpentina de cobre (15m);
8. Lâminas de alumínio ;
9. Sensores de temperatura (LM35)
10. Módulo fotovoltaico



Estrutura de resfriamento na parte traseira do módulo.

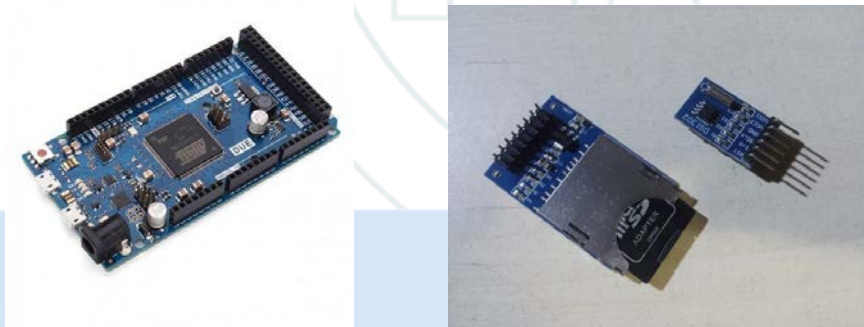
## Proposta conceitual (Sistema de Aquisição)

- Para a aquisição das temperaturas (módulo modificado, módulo original, água quente, água fria, e temperatura ambiente) utilizou-se o sensor LM35 cuja resolução é 10 mV/°C.
- A tensão dos módulos foi adquirida por meio de opto acopladores os quais variam a tensão de saída de acordo com a variação de tensão nos módulos.
- A corrente mediu-se através de um sensor ACS712 o qual mede até 30 A de corrente com uma resolução de 66 mV/A.

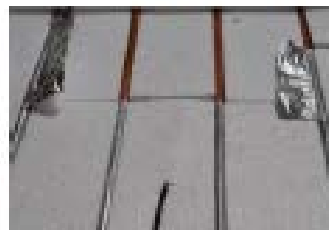
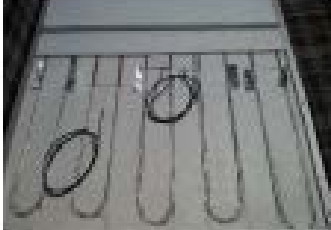
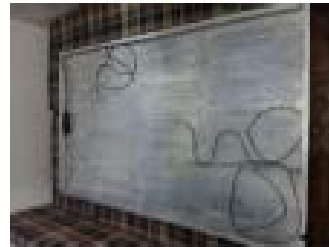
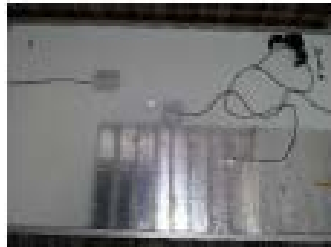


## Proposta conceitual (Sistema de Controle Inteligente)

- Os dados oriundos do sistema de aquisição são processados e alimentam o sistema de controle que tomará a decisão sobre a hora de atuar ou não no sistema.
- O sistema de controle é baseado em um sistema Arduino, programado em C++.
- Com a ação de controle tomada, ela atua diretamente na bomba de água da serpentina de resfriamento.



## Proposta conceitual (Desenvolvimento)

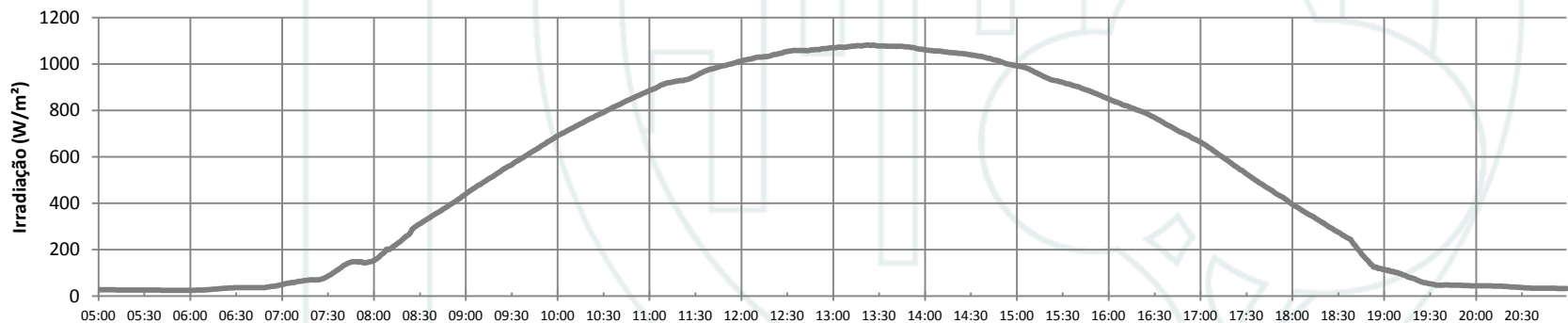




## Resultados (Coleta de Dados)

- A aquisição iniciou-se no dia 06/01/2017 e os melhores dados foram registrados no dia 13/01/2017 pois não ocorreu a presença de nuvens durante todo o período do dia conforme observado pela aproximação da irradiação solar neste dia.

Gráfico da aproximação da irradiação solar no dia 13/01/2017: (-) Irradiação

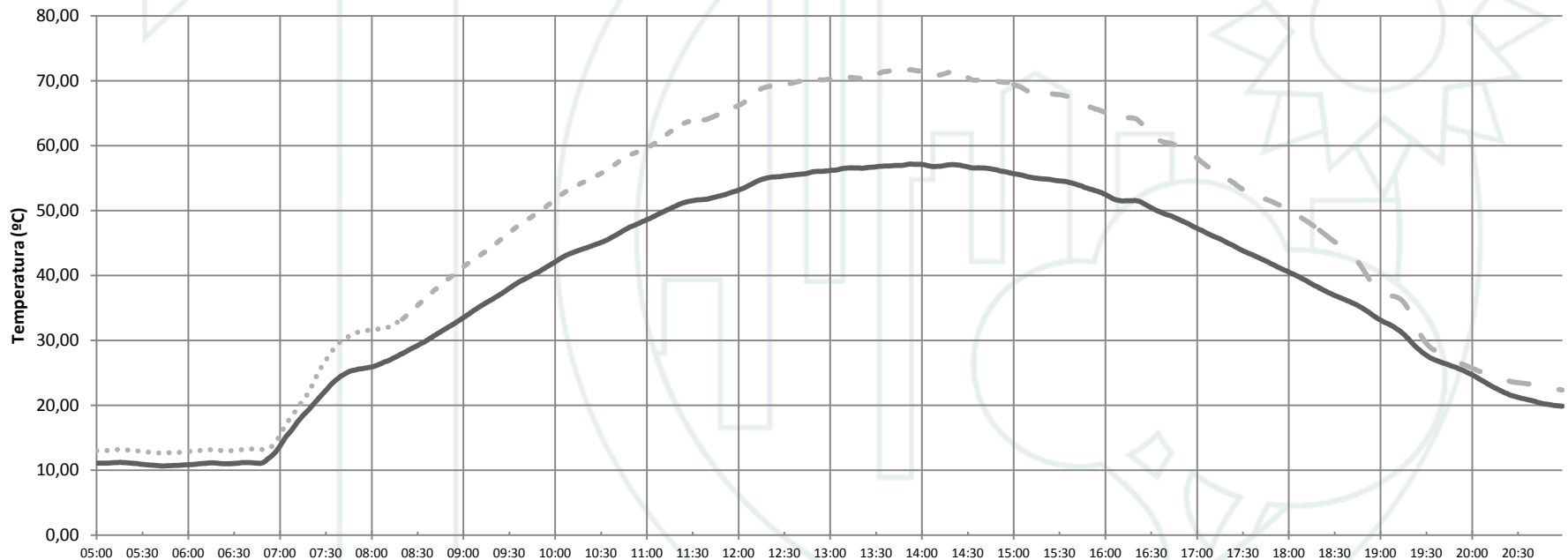


## Resultados (Coleta de Dados)

- Devido a forte irradiação solar durante todo o período do dia, a temperatura ambiente atingiu uma temperatura máxima de 34.2 °C.
- Os módulos sofreram um grande aquecimento decorrente da alta temperatura, porém percebeu-se que o módulo modificado teve uma redução considerável na temperatura. Enquanto o módulo original atingiu uma temperatura máxima de 71.7 °C, o módulo modificado atingiu uma temperatura máxima de 57.1 °C, conforme observado no próximo gráfico.

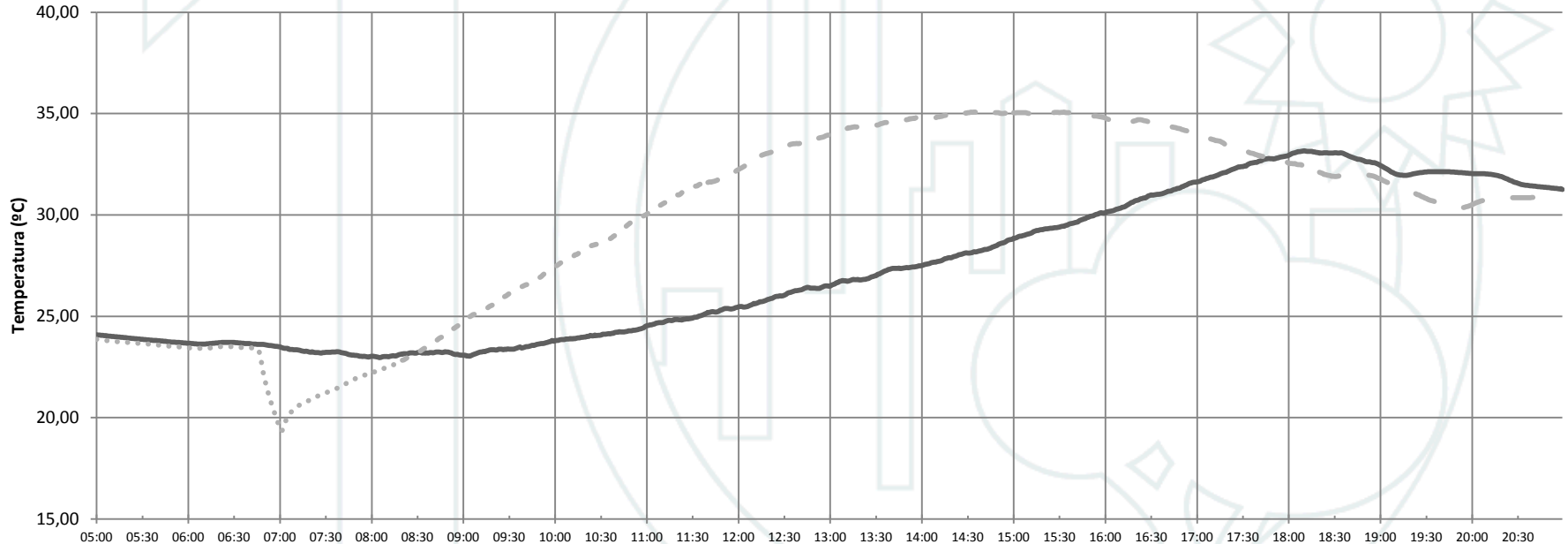
## Resultados (Coleta de Dados)

Gráfico da diferença de temperatura entre os módulos no dia 13/01/2017: (-) Temperatura do módulo modificado, (..) Temperatura do módulo original.



## Resultados (Análise dos Dados)

Gráfico da temperatura da água de entrada (fria) e saída (quente) do sistema no dia 13/01/2017:  
(-) Temperatura da água fria, (..) Temperatura da água quente.

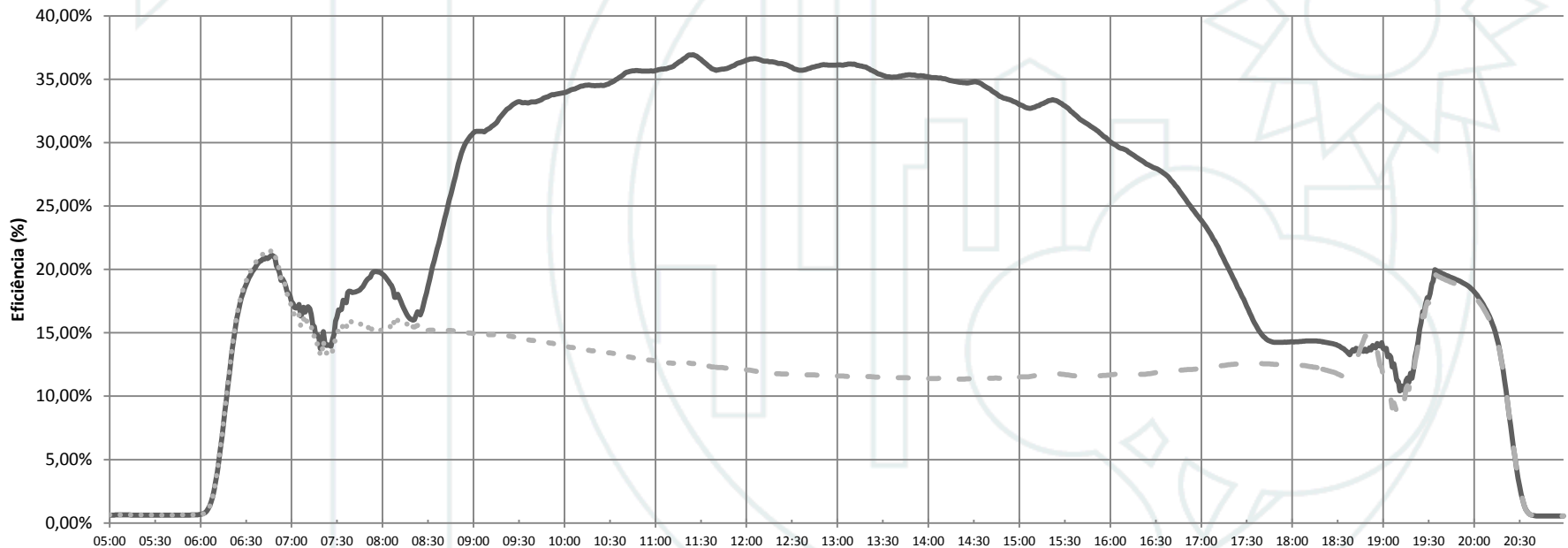


## Resultados (Análise dos Dados)

- Devido às modificações realizadas no módulo, foi possível obter duas eficiências diferentes para o mesmo sistema, pois, o mesmo módulo está absorvendo irradiação solar e transformando em energia elétrica e térmica ao mesmo tempo.
- Baseando-se nos dados da diferença de tensão entre os módulos e da temperatura da água de saída em relação a de entrada, foi possível calcular a eficiência híbrida do sistema. Ao realizar o cálculo, verificou-se que o módulo obteve um eficiência máxima de 36.93 %.

## Resultados (Análise dos Dados)

Gráfico da comparação das eficiências totais de ambos os módulos no dia 13/01/2017: (-) Eficiência híbrida do módulo fotovoltaico modificado, (..)Eficiência elétrica do módulo fotovoltaico original.





## Resultados

- Utilizando-se das equações de cálculo da  $T_{mod}$  e inserindo o valor coletado da irradiação, verificou-se que a temperatura de trabalho do **módulo original atingiu 71,7°C** e **módulo híbrido atingiu 57,1°C**.
- Esta redução de 14,6°C representa uma parcela de **20,5%** em relação a **temperatura atingida pelo módulo original**.
- No momento de maior corrente fornecido pelo sistema o módulo modificado apresentou um **acréscimo de 2.31 V** em relação ao módulo original, obtendo um **ganho de potência de 21.1 W**.
- O **módulo original** obteve uma potência máxima de **198.1 W**, já o **módulo híbrido**, obteve uma potência máxima de **219.2 W**, representando um ganho de **10,6%**.

## Resultados

- Para o momento em que os módulos estavam gerando a potência máxima obteve-se um rendimento de 11.46% para o módulo original e 12.62% para o módulo híbrido, obtendo um ganho de 1,16% em eficiência elétrica.
- No momento em que o módulo atingiu a sua maior temperatura a água fria estava 27.4 °C e ao passar pelo sistema de resfriamento foi aquecida a uma temperatura de 34.7 °C. Ao final do dia o sistema aqueceu 100 litros de água em 8.8 °C, o que acarreta em uma grande economia de energia para aquecer torneiras e chuveiros.

## Conclusão

- A proposta conceitual do um **módulo fotovoltaico híbrido** com controle de temperatura para elevar a eficiência na geração solar apresentou um alto **potencial de aplicabilidade** e **viabilidade**.
- O sistema híbrido apresentou um ganho na potência máxima gerada em **10,7%** para um módulo de 250 W.
- O sistema híbrido permitiu o aquecimento de 100 litros de água em 8,8 °C, atingindo a temperatura no final do dia em 34,7 °C.

## Conclusão

- Embora, houve elevação de 1,2% na eficiência elétrica, ao realizar o cálculo da eficiência térmica e da eficiência elétrica do módulo híbrido, o qual apresentou uma **eficiência máxima de 36.9 %**. Já, o módulo original apresenta apenas a eficiência elétrica que teve um valor de 11,5%.

**Proposta conceitual de um módulo  
fotovoltaico híbrido com resfriamento por  
serpentina de água**  
**(The Conceptual Proposal of a Hybrid Solar Photovoltaic  
Module with Water Coil Cooling)**

Guilherme Zanlorenzi  
**Dr. Anderson Luis Szejka**  
Dr. Teófilo Miguel de Souza