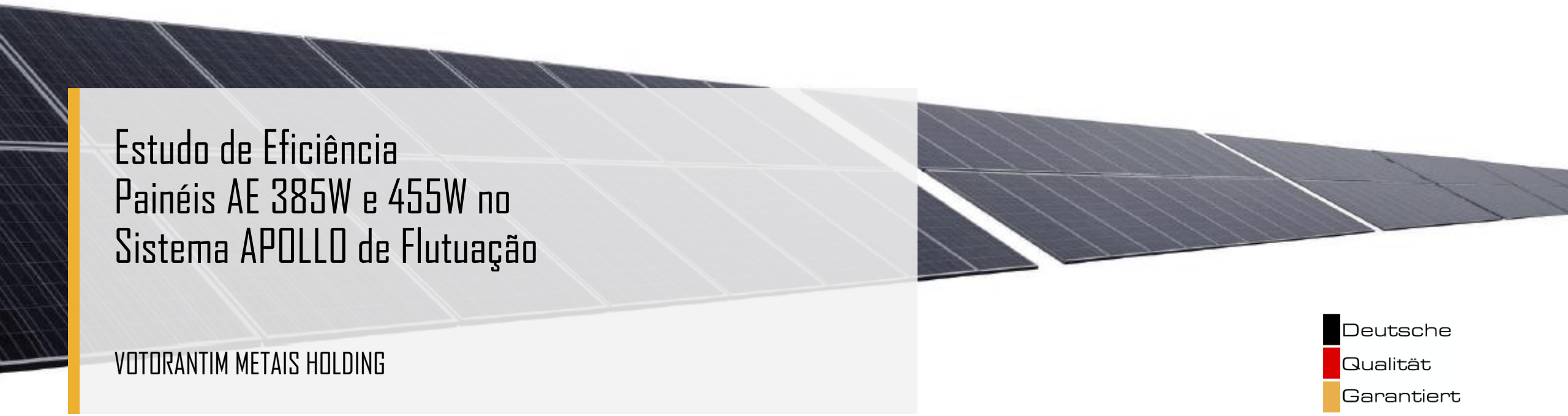


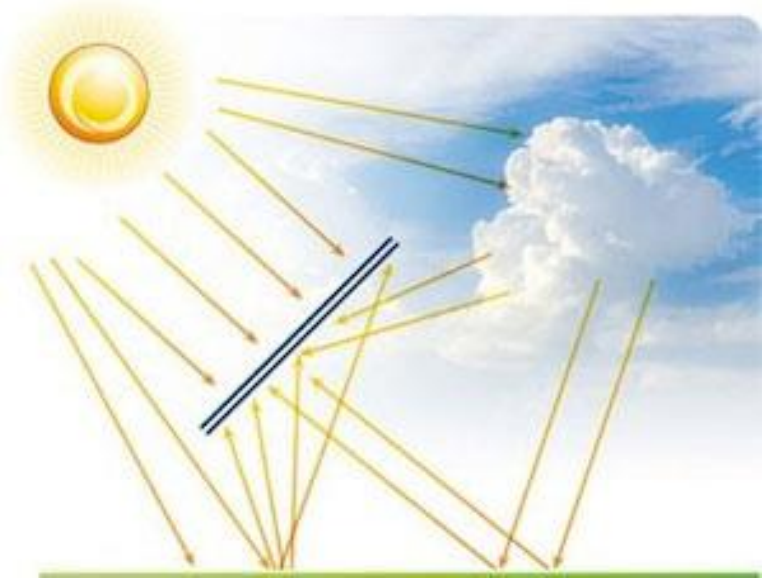
# Estudo de Eficiência
# Painéis AE 385W e 455W no Sistema APOLLO de Flutuação

VOTORANTIM METAIS HOLDING

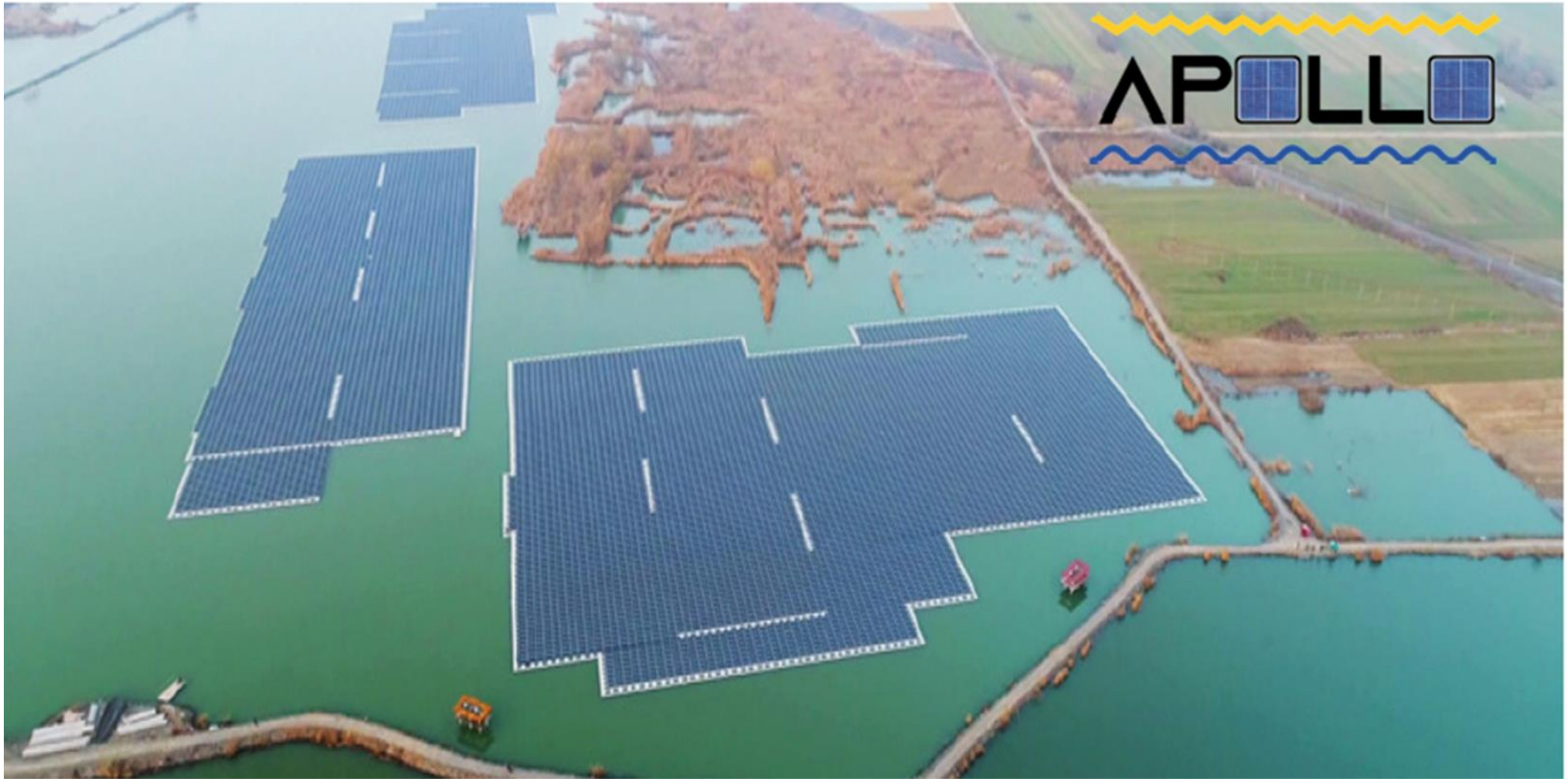
Deutsche
Qualität
Garantiert

# Sumário do Estudo

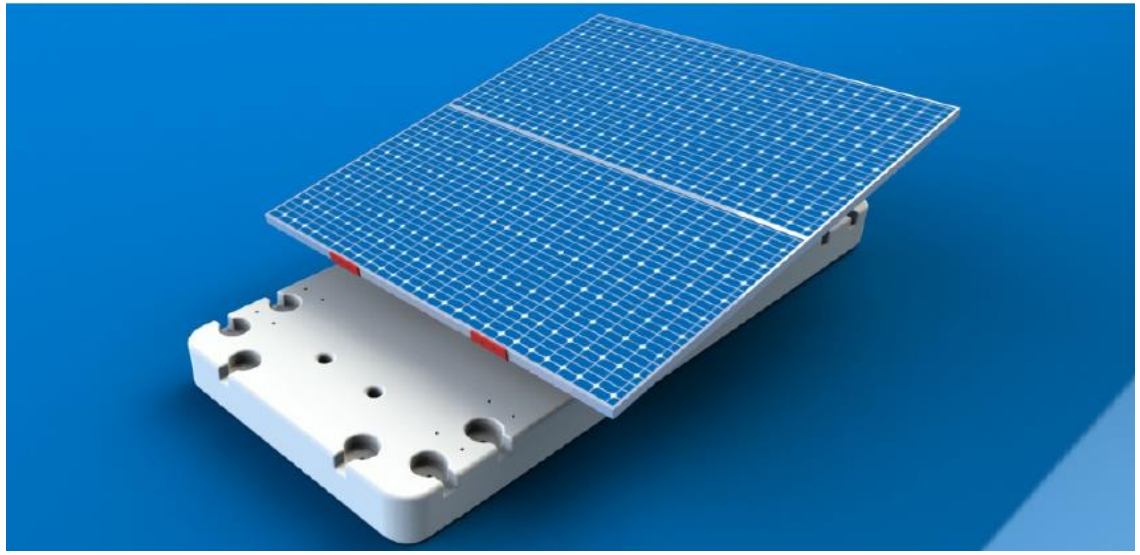
- Definição do projeto e aplicação
- Estudo de Referência do Instituto Fraunhofer
- Análise pelo método de Fator de Visualização (Simulador PUB)
  - AE 385W
  - AE 455W
  - Comparação
- Conclusões

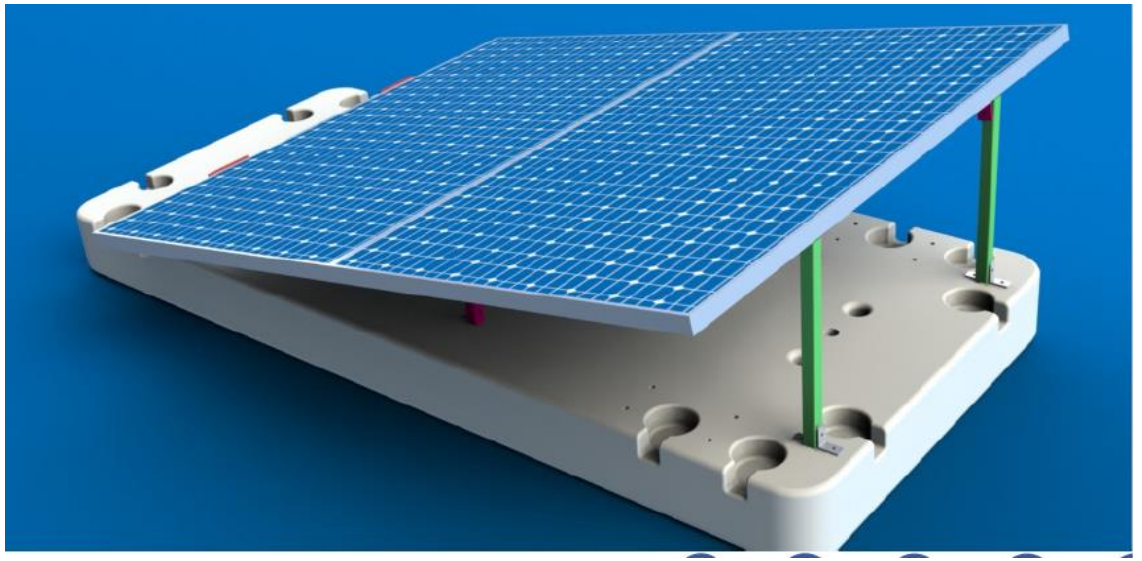



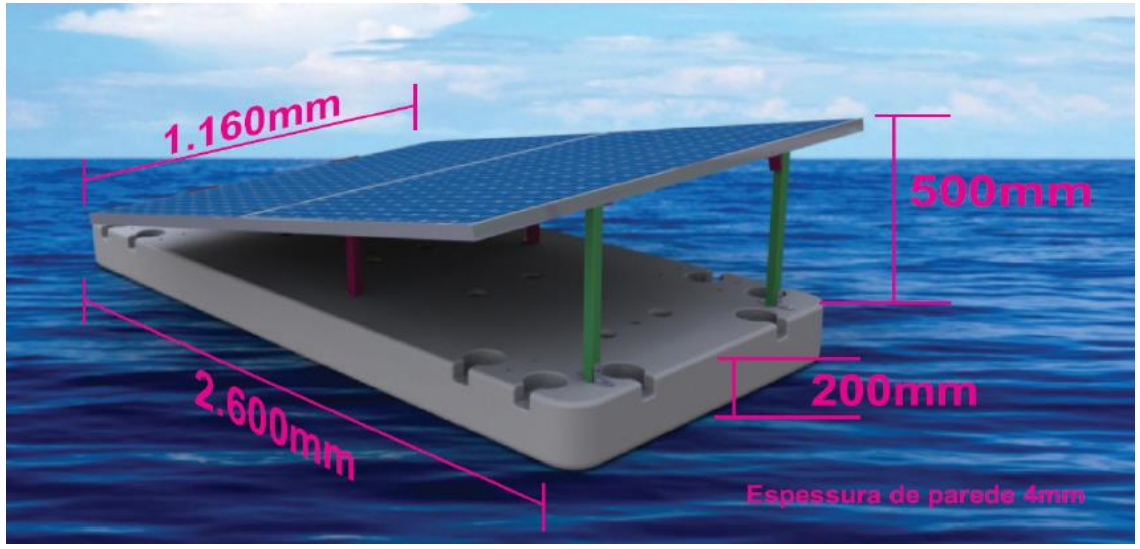
# Usina Fotovotaica Flutuante

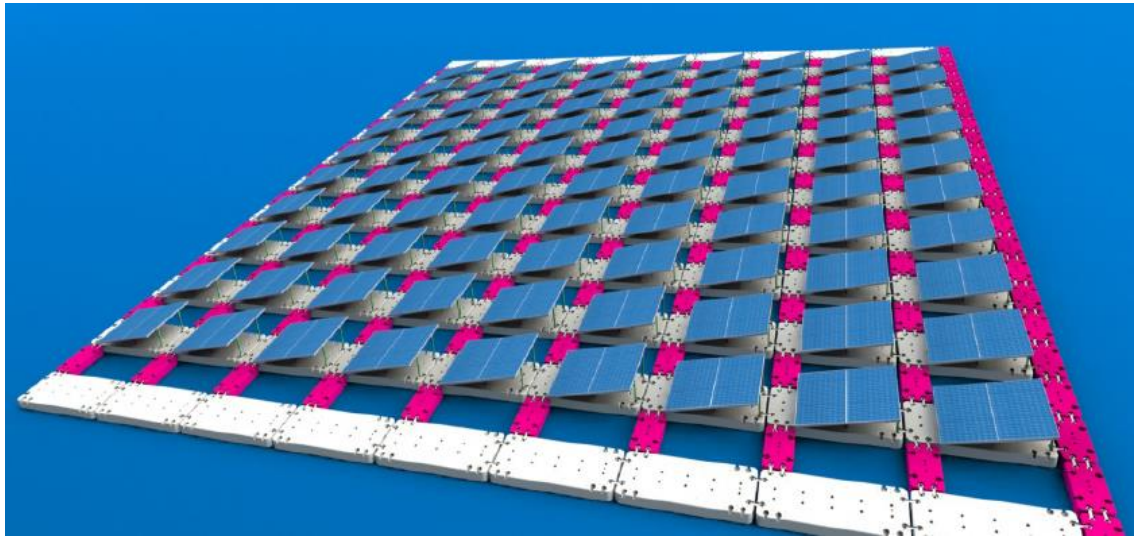


# Sistema APOLLO de Flutuação







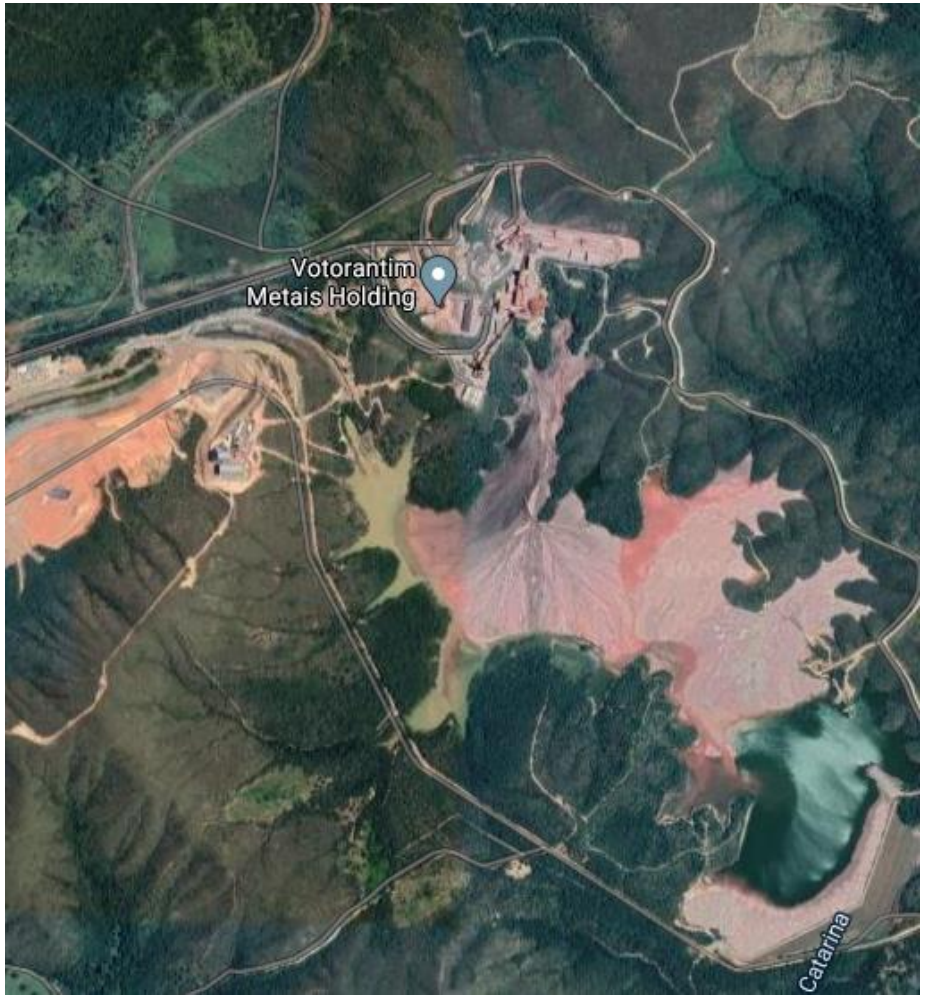
# Aplicação do Sistema APOLLO de Flutuação

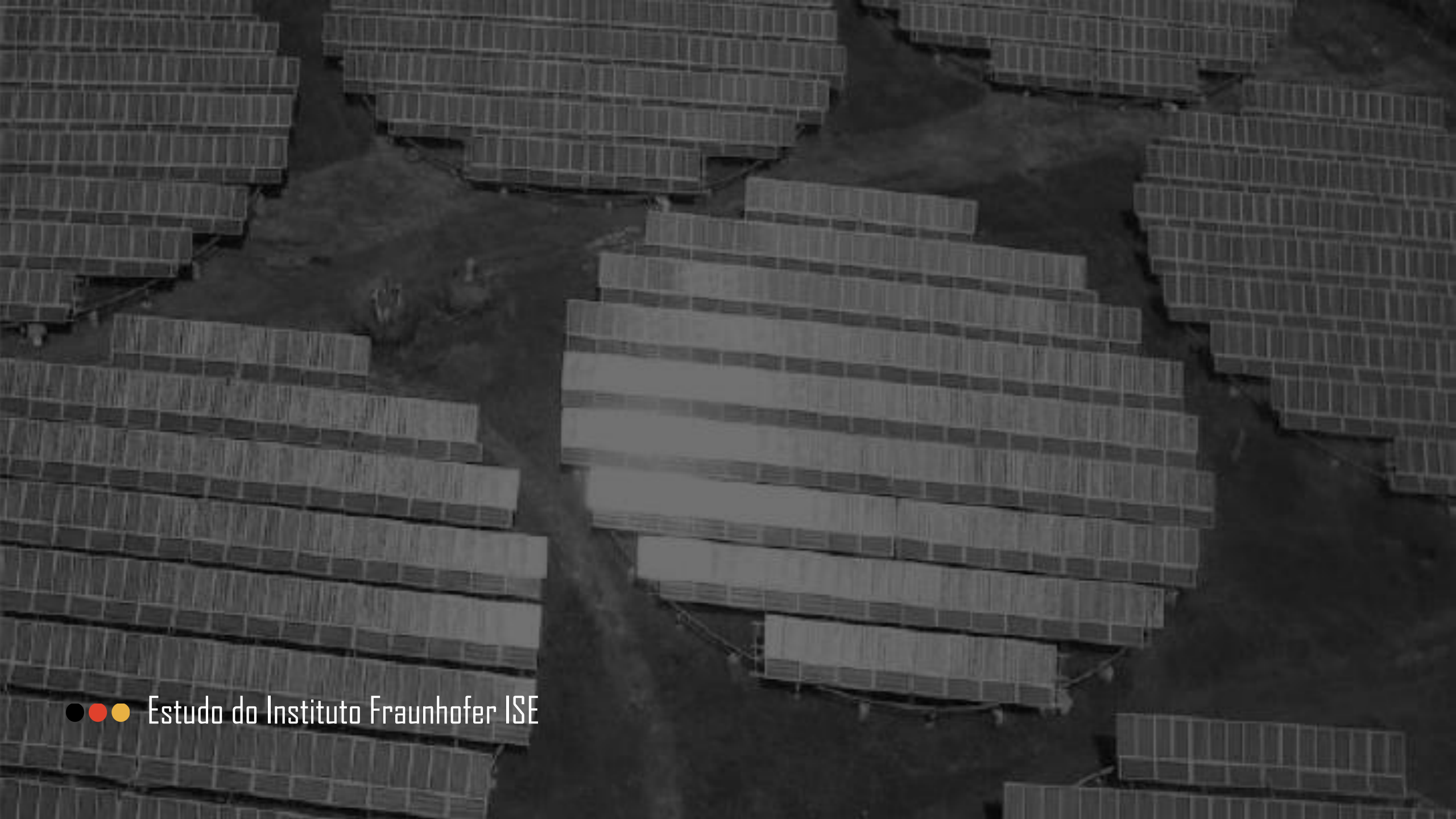
**Projeto:** Sistema de Geração Elétrica Fotovoltaica Flutuante

**Cliente:** VOTORANTIM METAIS HOLDING

**Localização do projeto:** Vazante, MG

**Capacidade:** 18,38 MWp




Estudo do Instituto Fraunhofer ISE

# Estudo do Instituto Fraunhofer ISE sobre Painéis Bifaciais

## Predicting Bifacial Yields
### Validation II

Single module model validation...

First example values for a rooftop system:

| *type* | *height* | *tilt angle* | *albedo* | *GCR* | *Country* | *bifacial Gain* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| rooftop | 0.1 m | 20 | 0,40 | 0,40 | DE | 6% |
| rooftop | 0.3 m | 20 | 0,40 | 0,40 | DE | 11% |
| rooftop | 0.5 m | 20 | 0,40 | 0,40 | DE | 14% |
| rooftop | 0.3 m | 20 | 0,20 | 0,40 | DE | 6% |
| rooftop | 0.3 m | 20 | 0,40 | 0,40 | DE | 11% |
| rooftop | 0.3 m | 20 | 0,60 | 0,40 | DE | 16% |

# Estudo do Instituto Fraunhofer ISE sobre Painéis Bifaciais

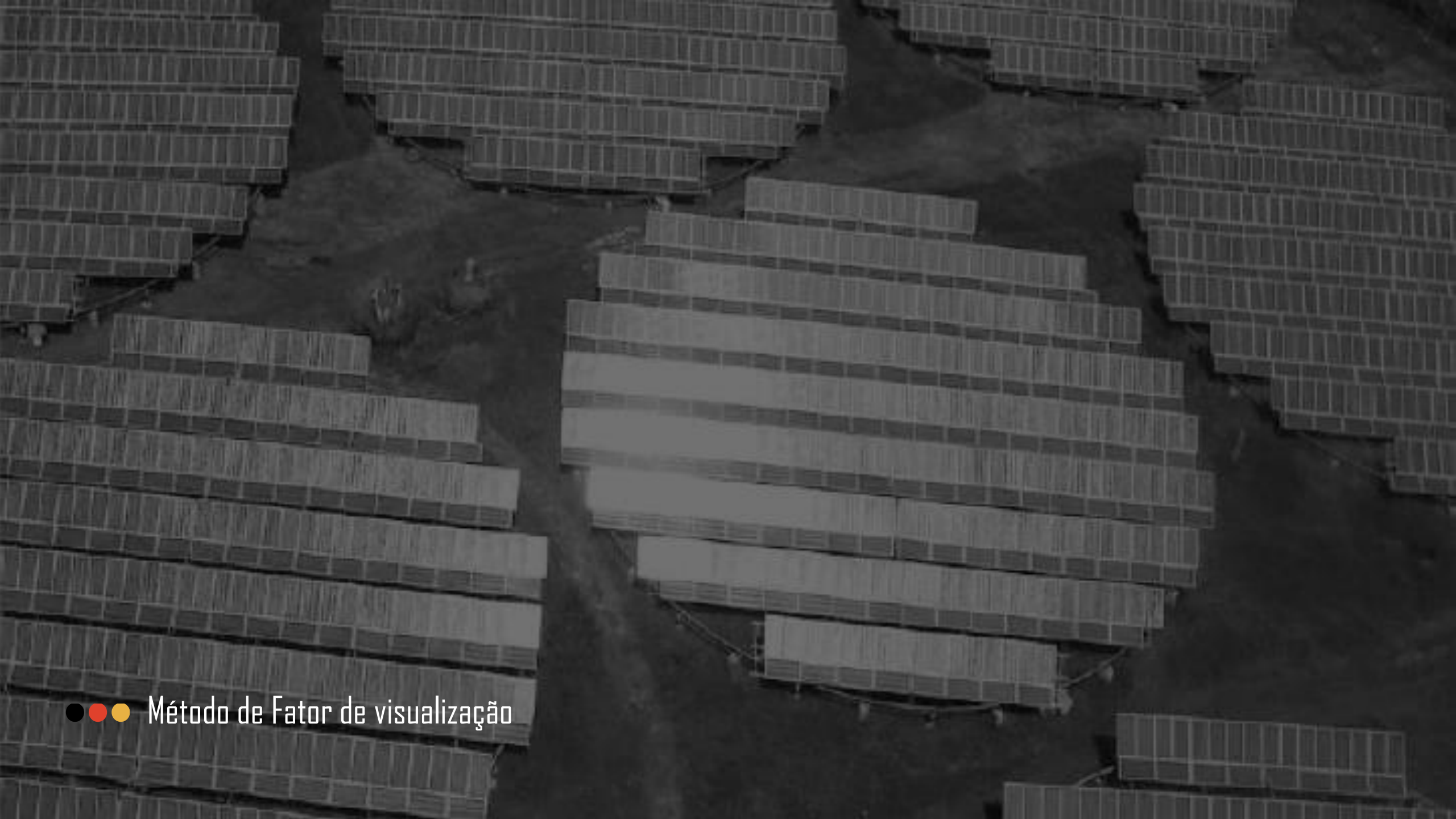
## Predicting Bifacial Yields
### Validation I

The prototype:

Bifacial module test installation, monitored by Fraunhofer ISE in 2009

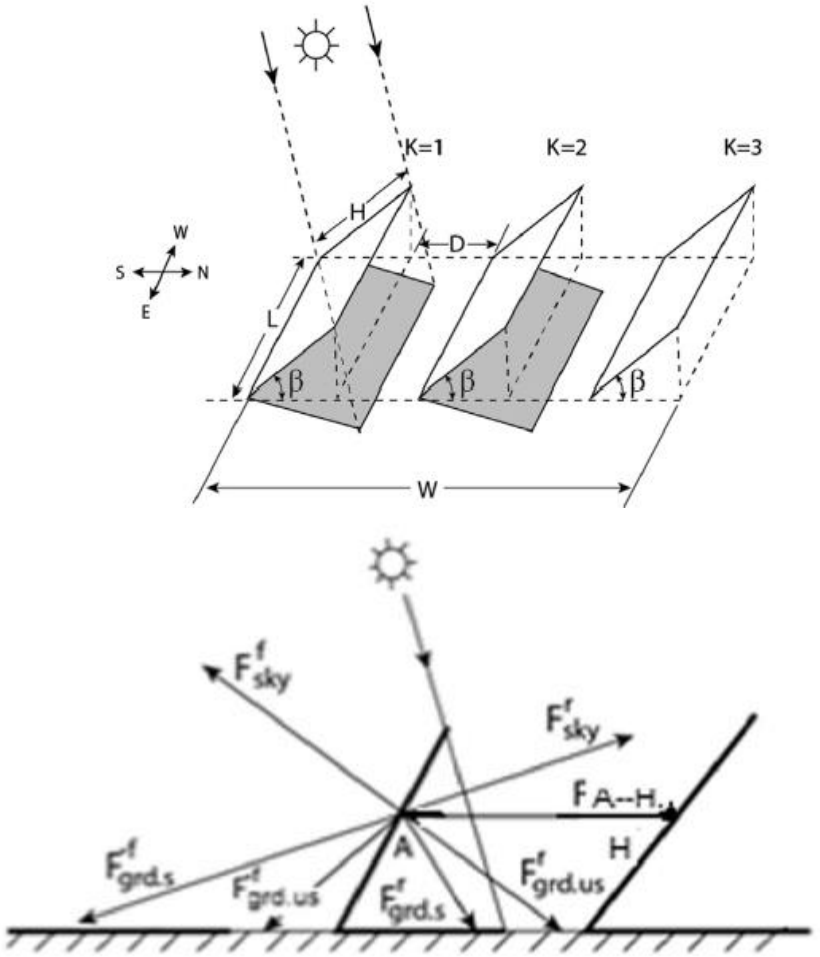
System model validation results (235 days in 2009):

| | *height* | *tilt angle* | *albedo* | *bifacial Gain DC* |
|---|---|---|---|---|
| Measurement | 0,2 m | 15 | 0,64 | 21.9% |
| Model | 0,2 m | 15 | 0,64 | 21.1% |


Método de Fator de visualização

# Método de Fator de Visualização

- Alternativa: **Simulador Bifacial PUB** (Purdue University, Indiana);
- Algoritmo do simulador baseado no método "*View Factor in Solar Photovoltaic Panels*"
- Lógica analítica e resultados congruentes com os obtidos pelo Fraunhofer ISE;
- Boa concordância com resultados medidos em diversas usinas pelo mundo;
- Permite extrapolar parâmetros para encontrar orientação ideal.



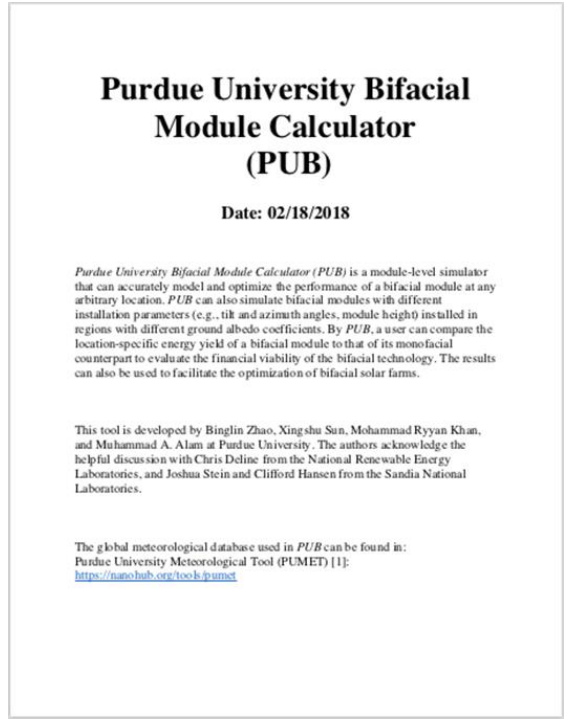
# Método de Fator de Visualização

Table. 1 Modeling Framework Validation Against Literature

| Location (Type) | Elevation / Module Height (m) | Albedo / Bifaciality | Tilt Angle / Facing | Reported Bifacial Gain (%) | Calculated Bifacial Gain (%) | Difference (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cairo (Sim.) [11] | 1 / 0.93 | 0.2 / 0.8 | 26° / South | 11.0 | 11.1 | -0.1 |
| Cairo (Sim.) [11] | 1 / 0.93 | 0.5 / 0.8 | 22° / South | 24.8 | 25 | -0.2 |
| Oslo (Sim.) [11] | 0.5 / 0.93 | 0.2 / 0.8 | 51° / South | 10.4 | 13.6 | -3.2 |
| Oslo (Sim.) [11] | 0.5 / 0.93 | 0.2 / 0.8 | 47° / South | 16.4 | 22.8 | -6.4 |
| Hokkaido* (Exp.) [46] | 0.5 / 1.66 | 0.2 / 0.95 | 35° / South | 23.3 | 25.7 | -2.4 |
| Hokkaido* (Exp.) [46] | 0.5 / 1.66 | 0.5 / 0.95 | 35° / South | 8.6 | 13 | -4.4 |
| Albuquerque (Exp.) [16] | 1.08 / 0.984 | 0.55 / 0.9 | 15° / South | 32.5** | 30.2 | 2.3 |
| Albuquerque (Exp.) [16] | 1.08 / 0.984 | 0.55 / 0.9 | 15° / West | 39** | 36.7 | 2.3 |
| Albuquerque (Exp.) [16] | 1.03 / 0.984 | 0.25 / 0.9 | 30° / South | 19** | 14.6 | 4.4 |
| Albuquerque*** (Exp.) [16] | 0.89 / 0.984 | 0.25 / 0. 9 | 90° / South | 30.5** | 32.2 | -1.6 |
| Golden (Exp.) **** | 1.02 / 1.02 | 0.2 / 0.6 | 30° / South | 8.3 | 8.6 | -0.3 |

* Only data from May to August were used to eliminate snowing effects.
** Average bifacial gain of multiple test modules was used.
*** The east-west-facing vertical modules measurement in [16] shows great discrepancy between two modules; therefor, it is not included here.
**** Bifacial measurement (12/2016 to 08/2017) performed by the National Renewable Energy Laboratory.

Simulador PUB tem correlação com resultados medidos em diversas usinas pelo mundo;



**Purdue University Bifacial Module Calculator (PUB)**

**Date: 02/18/2018**

*Purdue University Bifacial Module Calculator (PUB)* is a module-level simulator that can accurately model and optimize the performance of a bifacial module at any arbitrary location. *PUB* can also simulate bifacial modules with different installation parameters (e.g., tilt and azimuth angles, module height) installed in regions with different ground albedo coefficients. By *PUB*, a user can compare the location-specific energy yield of a bifacial module to that of its monofacial counterpart to evaluate the financial viability of the bifacial technology. The results can also be used to facilitate the optimization of bifacial solar farms.

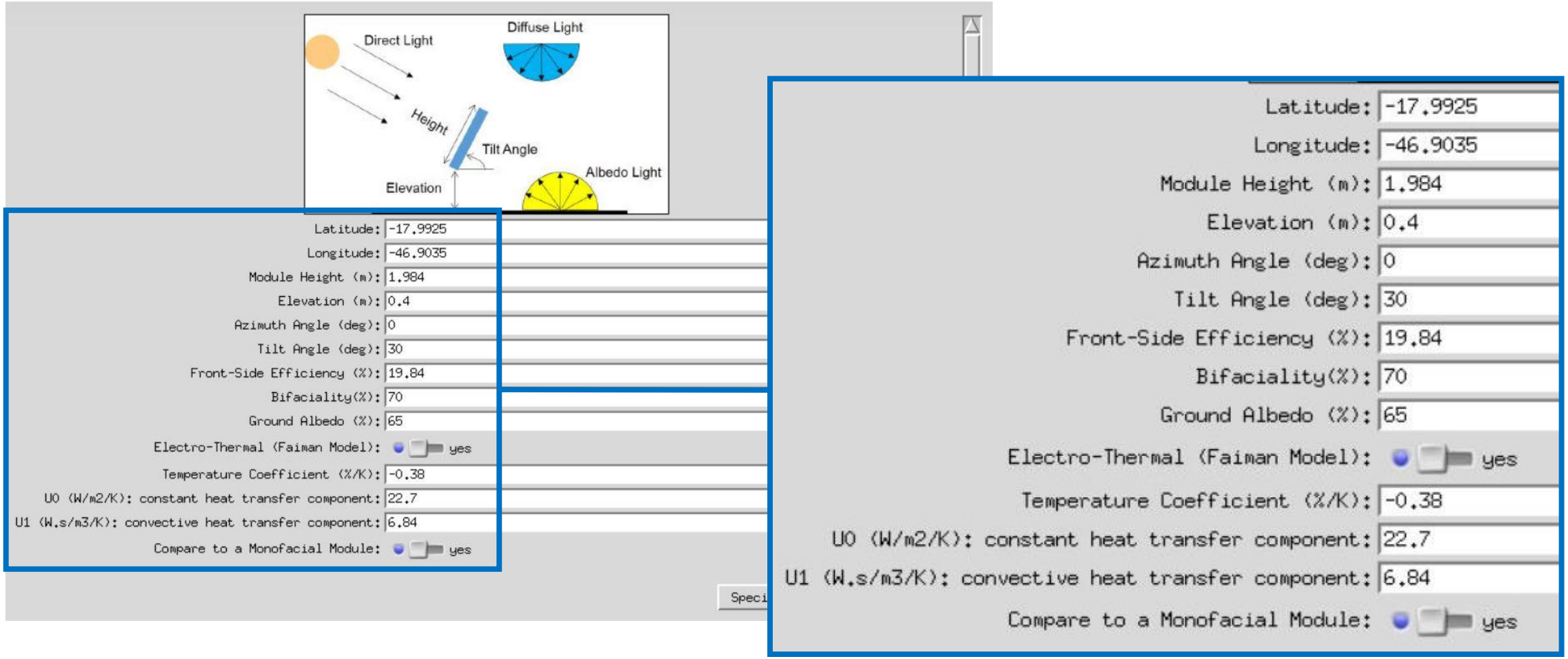
This tool is developed by Binglin Zhao, Xingshu Sun, Mohammad Ryyan Khan, and Muhammad A. Alam at Purdue University. The authors acknowledge the helpful discussion with Chris Deline from the National Renewable Energy Laboratories, and Joshua Stein and Clifford Hansen from the Sandia National Laboratories.

The global meteorological database used in *PUB* can be found in:
Purdue University Meteorological Tool (PUMET) [1]:
https://nanohub.org/tools/pumet

# Simulador PUB – AE 385W

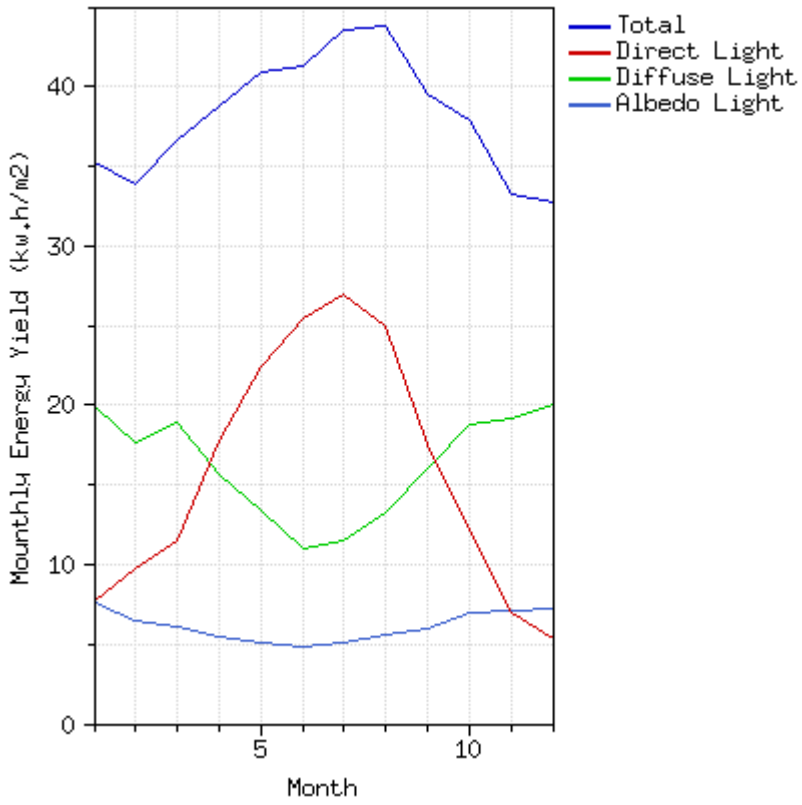
# Simulador PUB – AE 385W

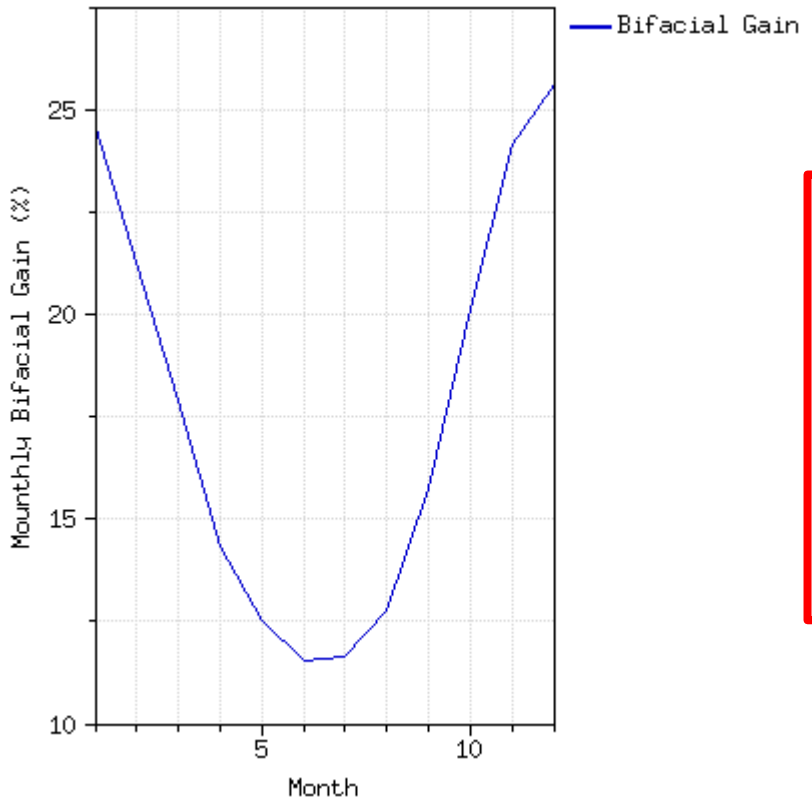
## Parâmetros de simulação configurados no PUB



# Simulador PUB – AE 385W

## Resultados em geração de energia por mês




Geração anual esperada:

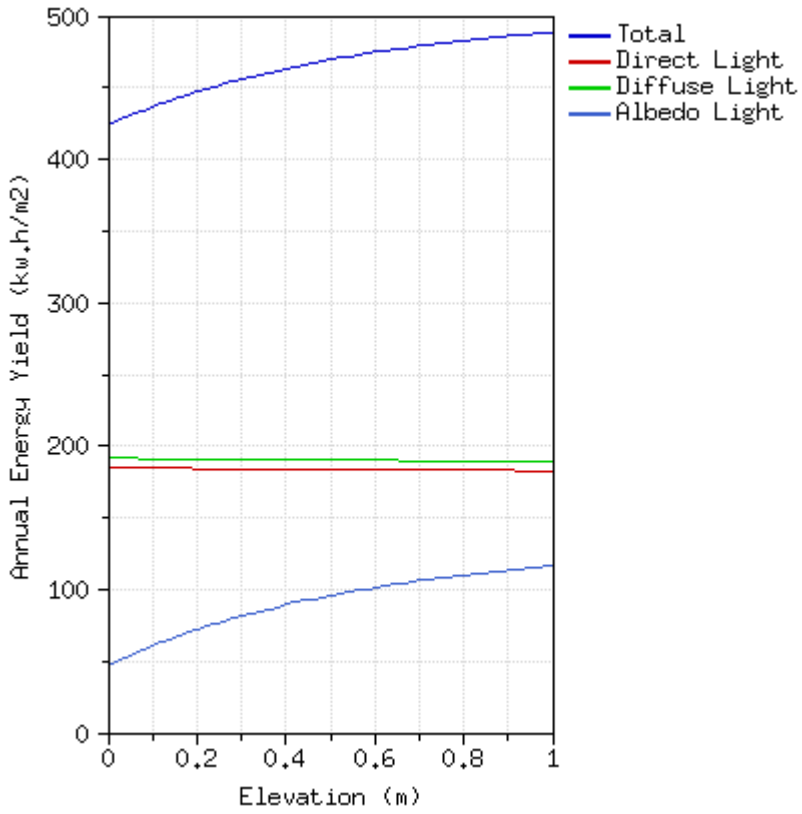
**457,5kWh/m²**

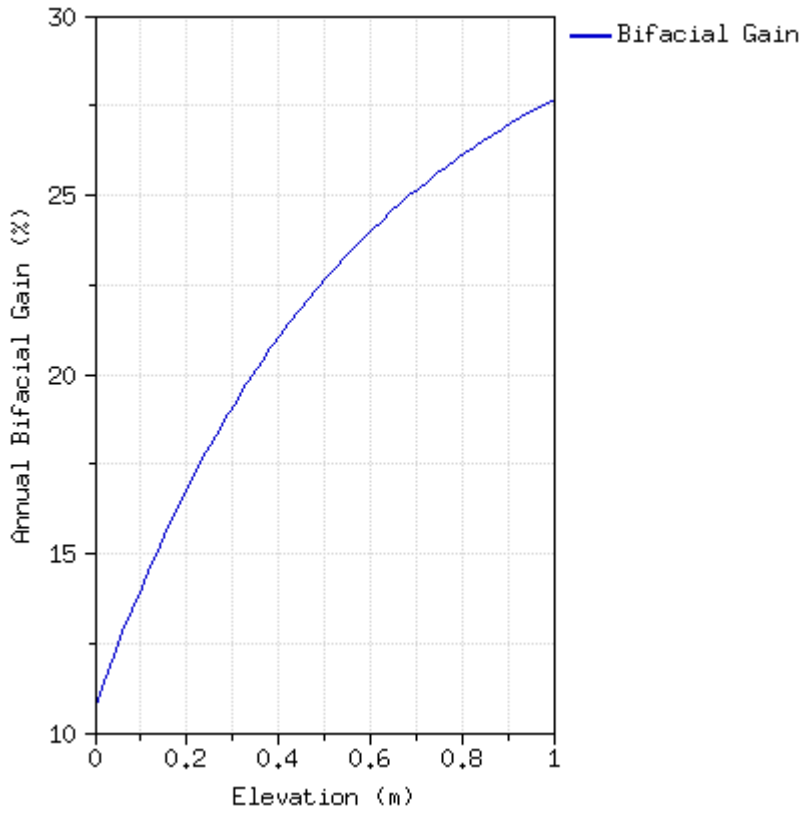
Ganho bifacial médio:

**17,67%**

# Simulador PUB – AE 385W

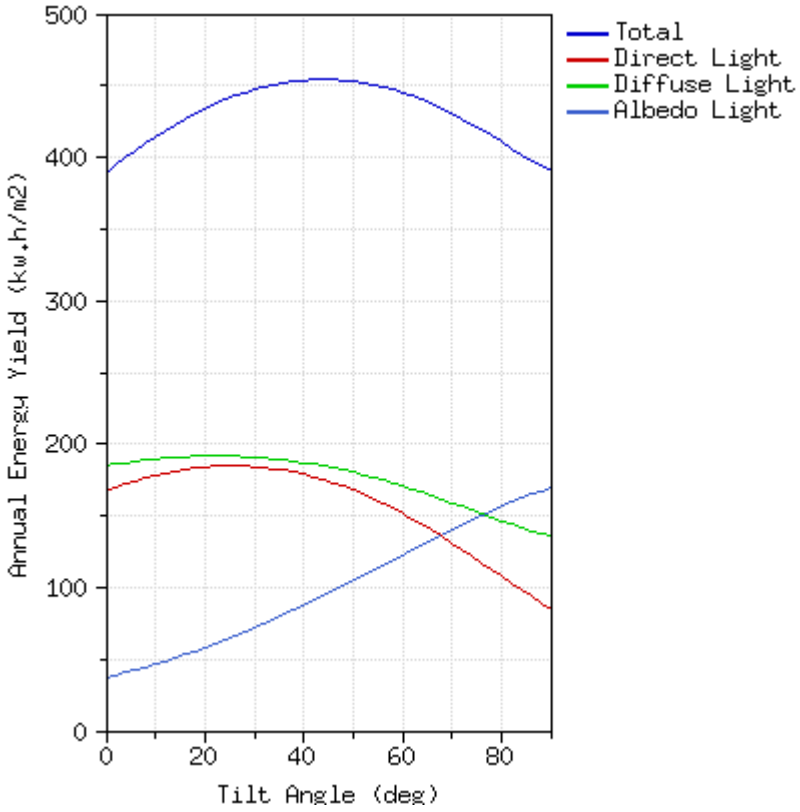
## Geração de energia em relação ao nível de elevação

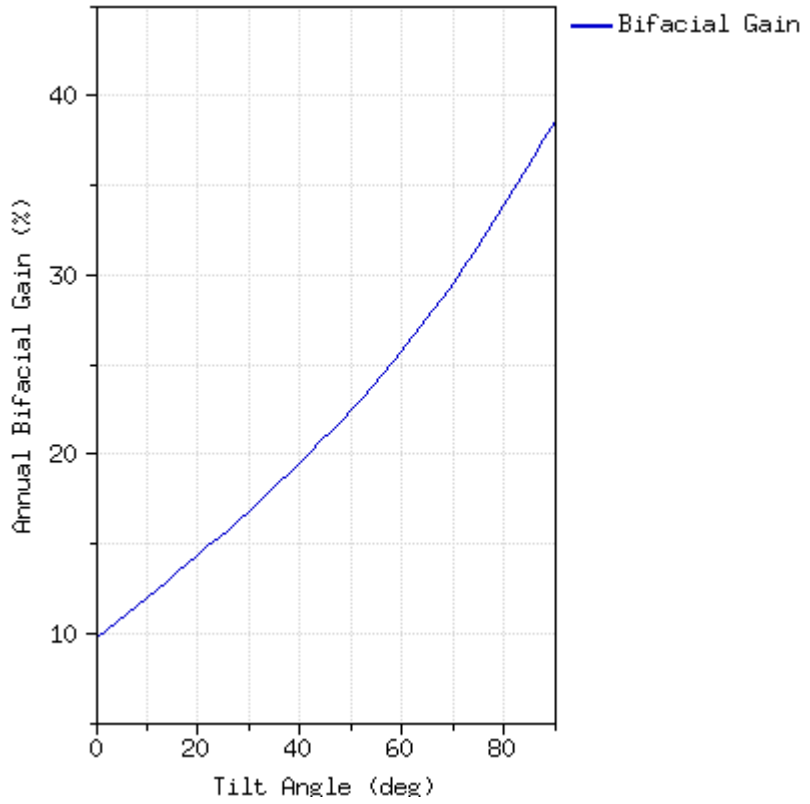


# Simulador PUB – AE 385W

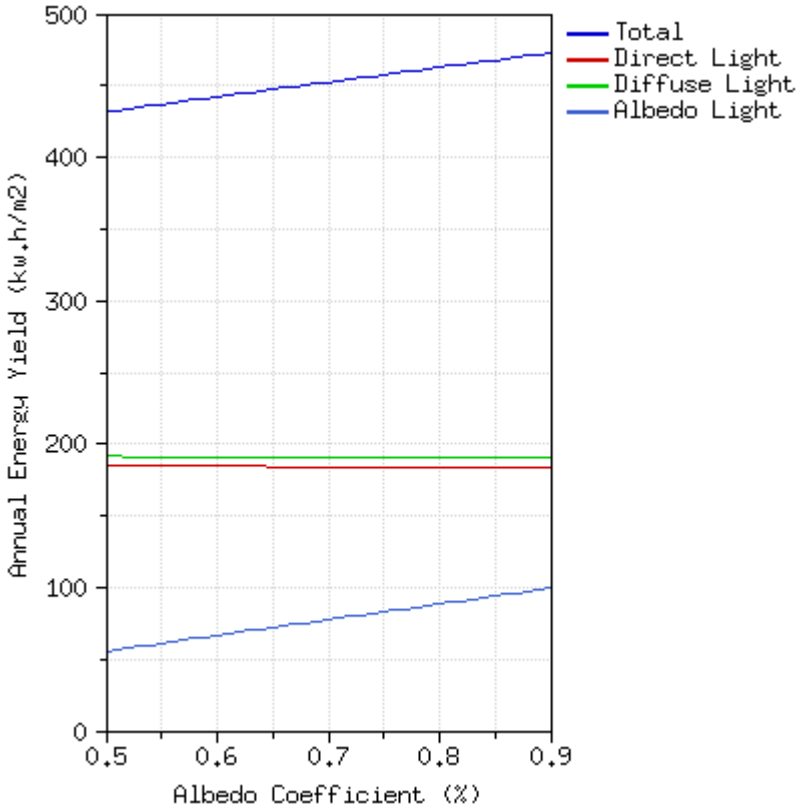
## Geração de energia em relação ao ângulo de inclinação

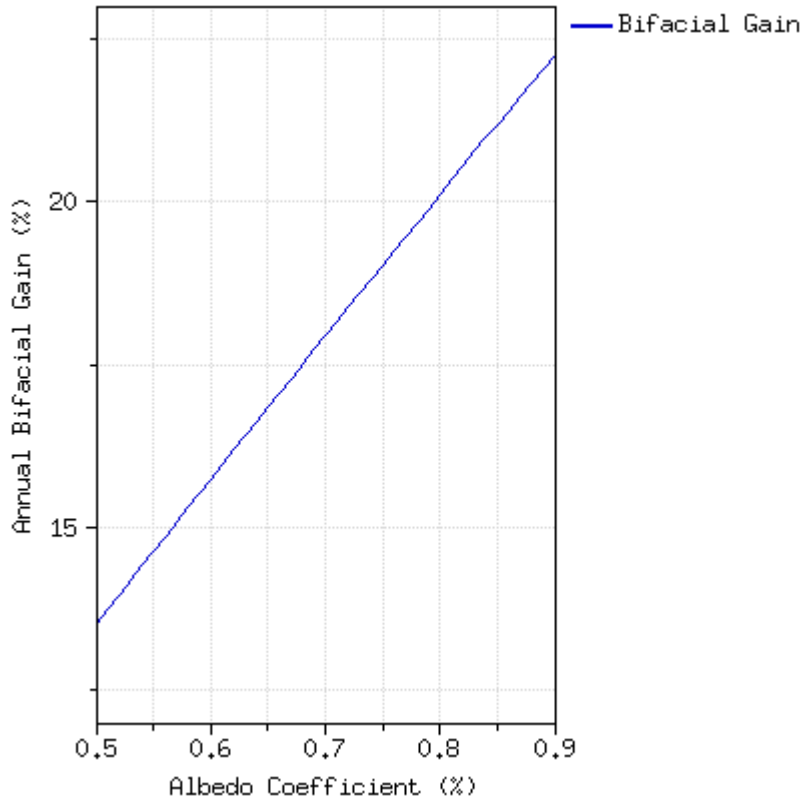


# Simulador PUB – AE 385W

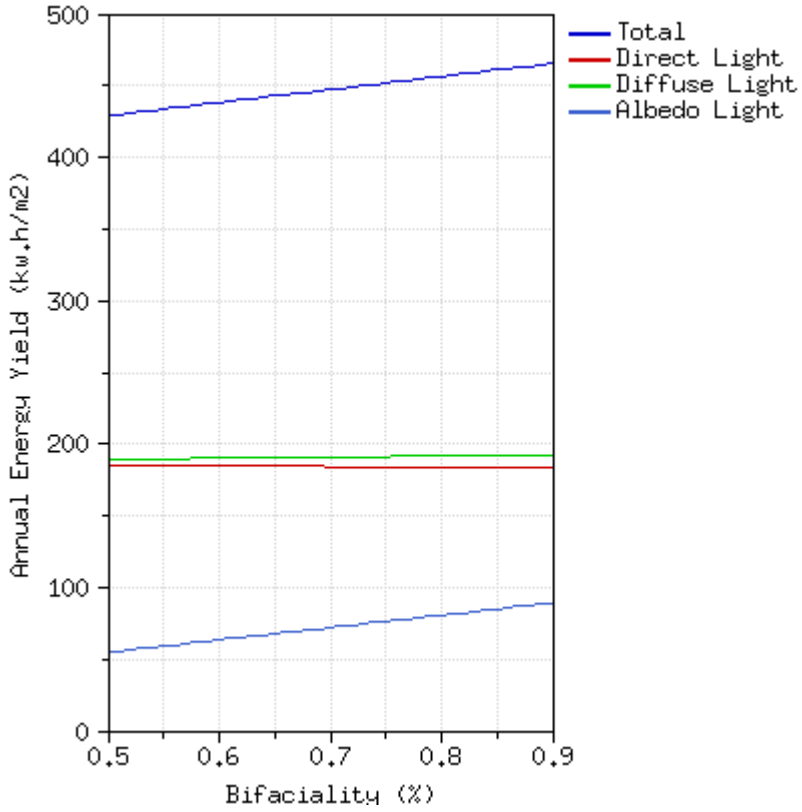
## Geração de energia em relação ao Albedo (reflexividade do solo)

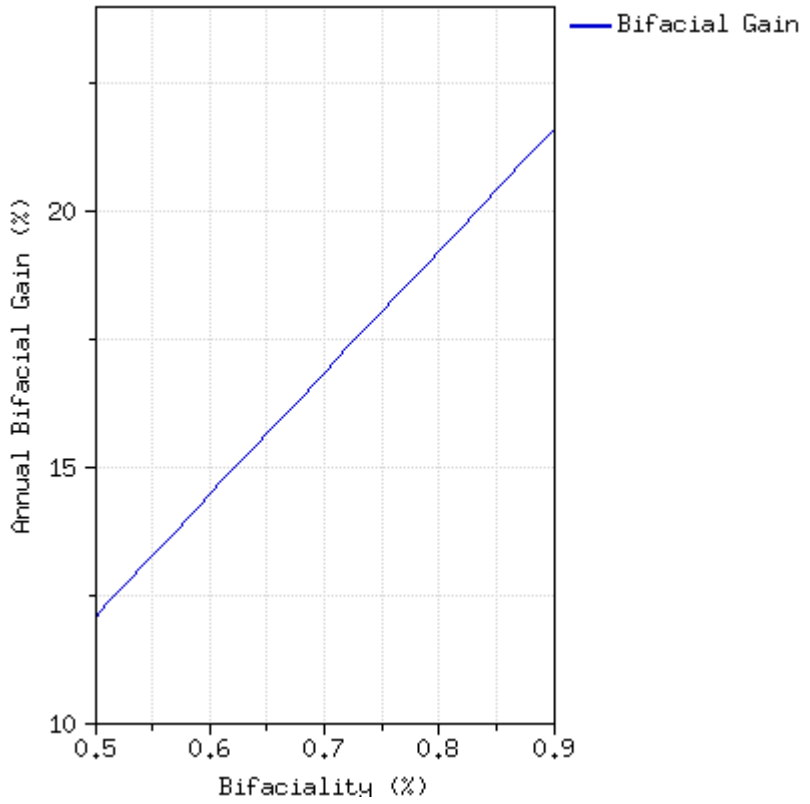


# Simulador PUB – AE 385W

## Geração de energia em relação ao fator de Bifacialidade

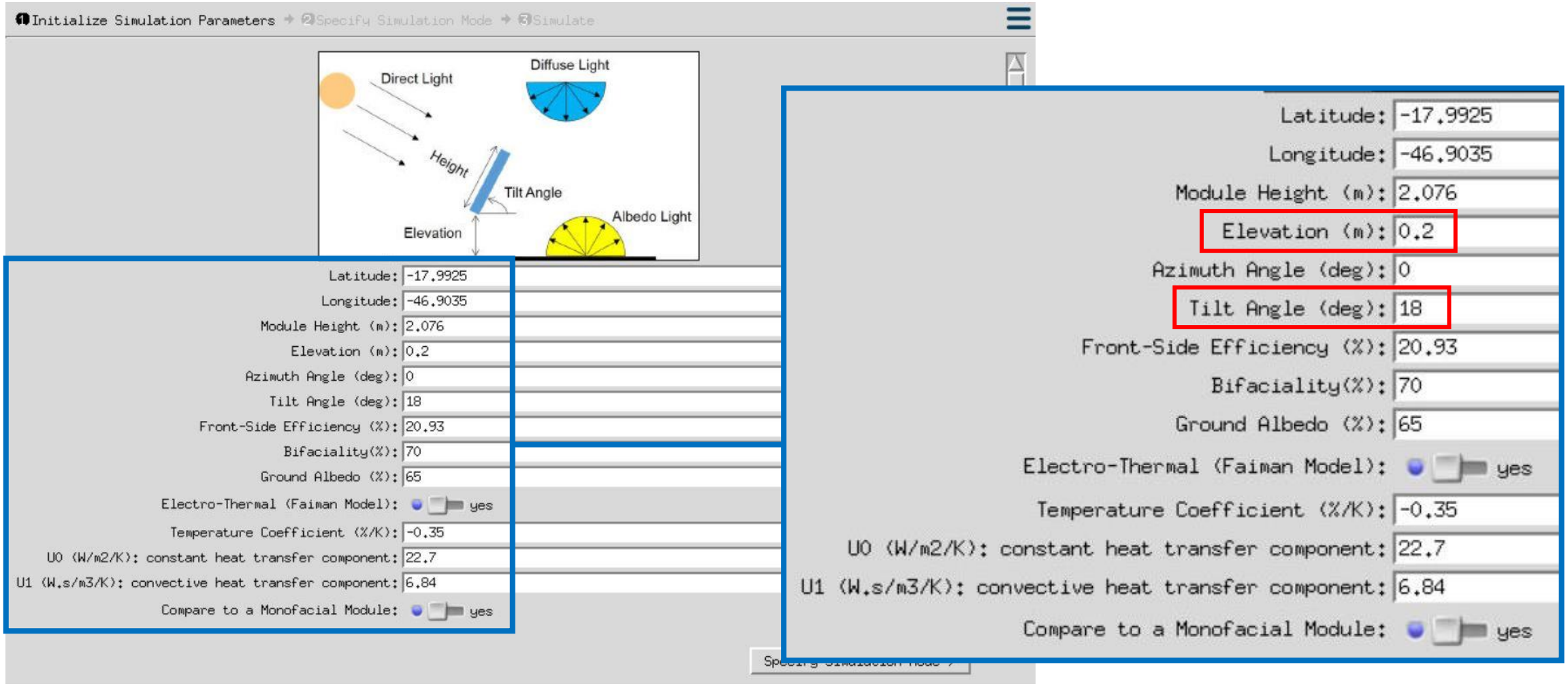


# Simulador PUB – AE 455W

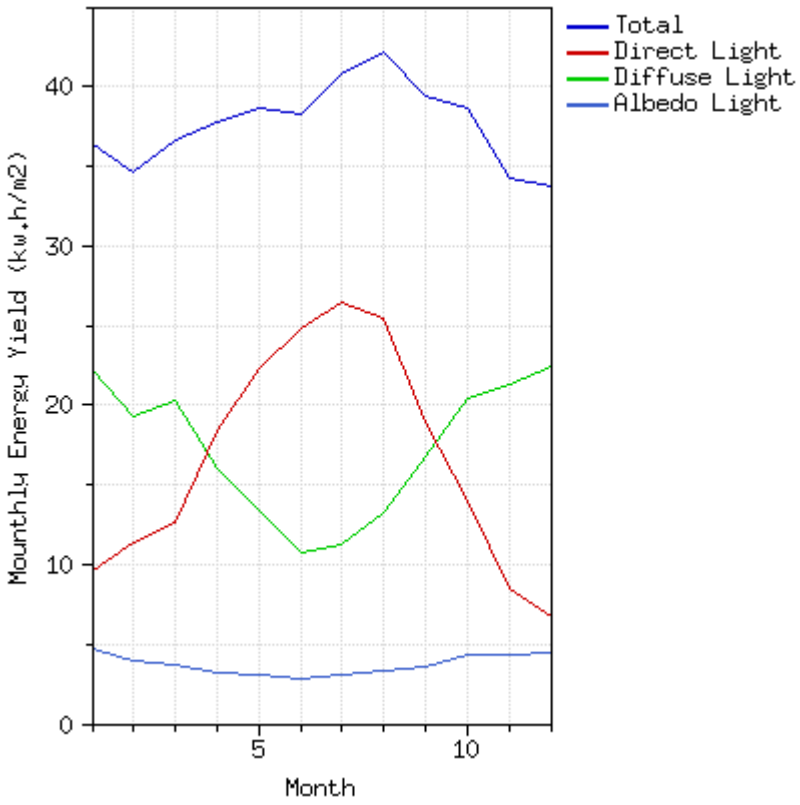
# Simulador PUB – AE 455W

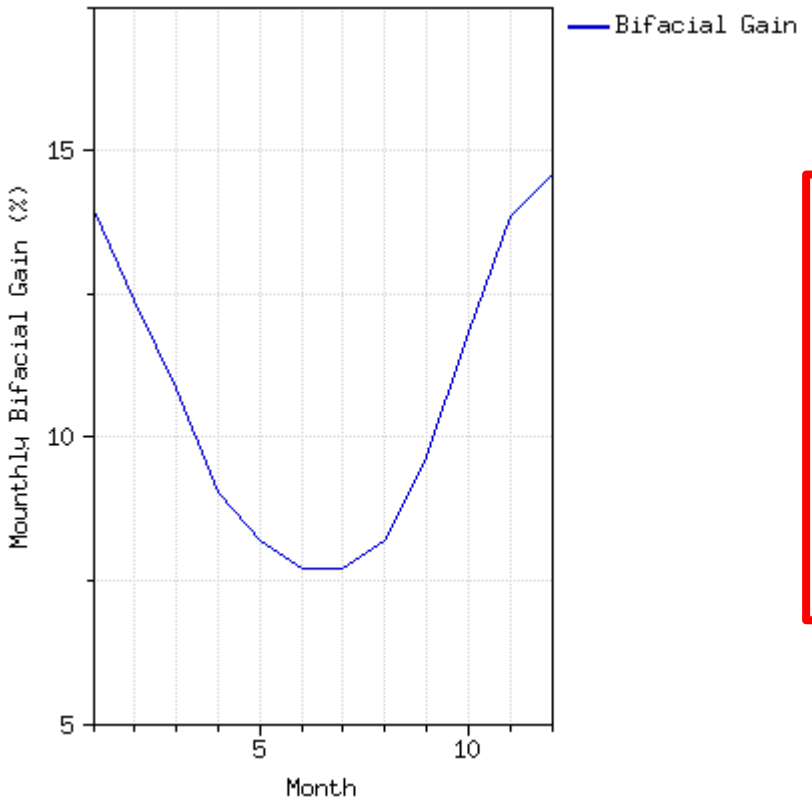
## Parâmetros de simulação: Inclinação de 18º e elevação de 0,2m



# Simulador PUB – AE 455W

## Resultados em geração de energia por mês




Geração anual esperada:

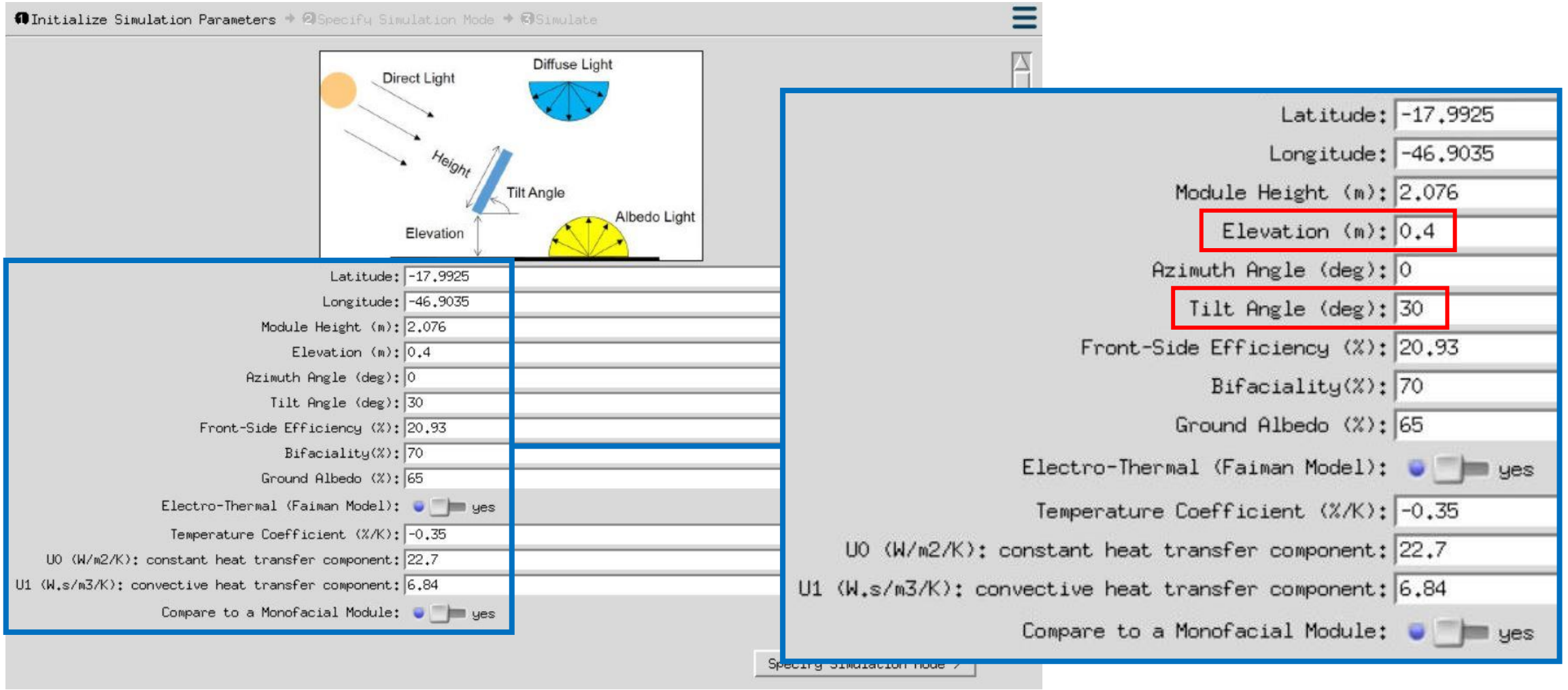
**451,5kWh/m²**

Ganho bifacial médio:

**10,66%**

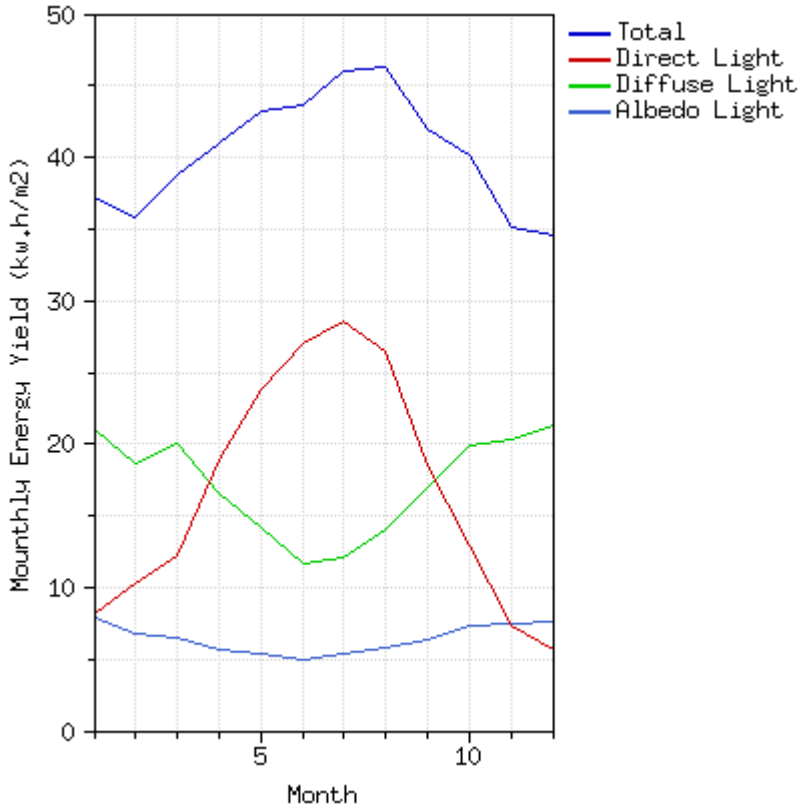
# Simulador PUB – AE 455W

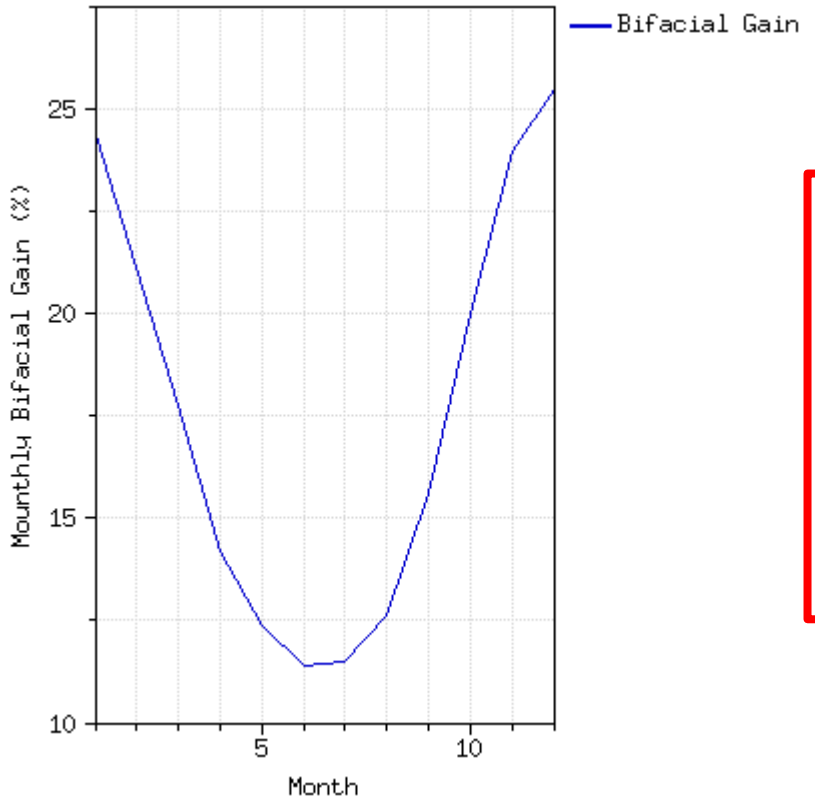
## Parâmetros de simulação: Inclinação de 30º e elevação de 0,4m



# Simulador PUB – AE 455W

## Resultados em geração de energia por mês




Geração anual esperada:

**483,6kWh/m²**

Ganho bifacial médio:

**17,53%**

# Simulador PUB - Comparação

| | 385W<br>Inclinação 18°<br>Elevação 0,2m* | 385W<br>Inclinação 30°<br>Elevação 0,4m | 455W<br>Inclinação 18°<br>Elevação 0,2m | 455W<br>Inclinação 30°<br>Elevação 0,4m |
|---|---|---|---|---|
| Geração anual esperada por área [kWh/m²] | 420,7 | 457,5 | 451,5 | 483,6 |
| Ganho Bifacial Médio [%] | 11,44 | 17,67 | 10,66 | 17,53 |
| Geração anual esperada por flutuador [MWh] | 1,567 | 1,802 | 1,963 | 2,102 |
| Geração anual esperada por 31.744 painéis [GWh] | 24,87 | 28,60 | 31,16 | 33,36 |
| Painéis necessários para atingir 18,38MWp | 42.840 | 40.572 | 36.504 | 34.370 |

*Simulação realizada em estudo anterior

# Método de Fator de Visualização – Simulador PUB

**Conclusões:**

- O ganho bifacial não é muito influenciado pelo tipo de painel utilizado, mas sim pelos parâmetros adotados;
- O painel de 455W proporciona maior geração anual devido a sua maior eficiência e área;
- Nas melhores circunstâncias simuladas, estimam-se os seguintes resultados para o painel AE 455W:
  - Geração anual por área: 483,6kWh/m²
  - Ganho Bifacial médio: 17,53%
  - Geração anual com 31.744 painéis: 33,36GWh
  - Painéis necessários para atingir 18,38MWp: 34.370 painéis;
- Os valores obtidos através da simulação representam estimativas, e estão sujeitos a variações em situações reais.

# Obrigado

AE SOLAR
alternative energy

AE Solar do Brasil
(11)3172-1991
vendas@ae-solar.com
www.ae-solar.com

**Name** Ary P. de Miranda
**Activity** Enginnering
Phone 55-11- 99975-3485
E-mail ary.Miranda@ae-solar.com
www.ae-solar.com

**Name** Tales Siqueira
**Activity** Technical Sales
**Phone** 55 11 98902 2558
E-mail tales.Siqueira@ae-solar.com
www.ae-solar.com