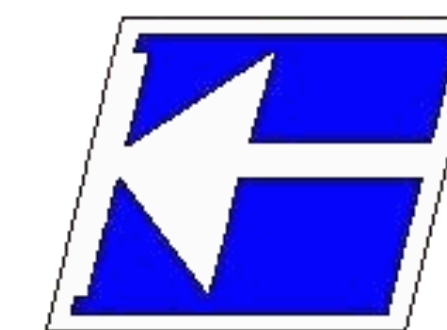




Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Eletrônica de Potência



# Introdução às Energias Alternativas

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, agosto de 2020.

# Curso Básico de Eletrônica de Potência

O material do curso está disponível em:

1. Moodle para os alunos matriculados na disciplina.
2. Página do professor.
3. Canal no youtube do professor.



<https://moodle.ifsc.edu.br>



[www.ProfessorPetry.com.br](http://www.ProfessorPetry.com.br)



<https://www.youtube.com>



# Agenda

## Introdução às energias alternativas:

- Contextualização;
- Energias alternativas;
- Geração fotovoltaica;
- Módulos fotovoltaicos.





<http://fotovoltaica.ufsc.br/>



<https://www.portal-energia.com/>



<https://estado.rs.gov.br/>

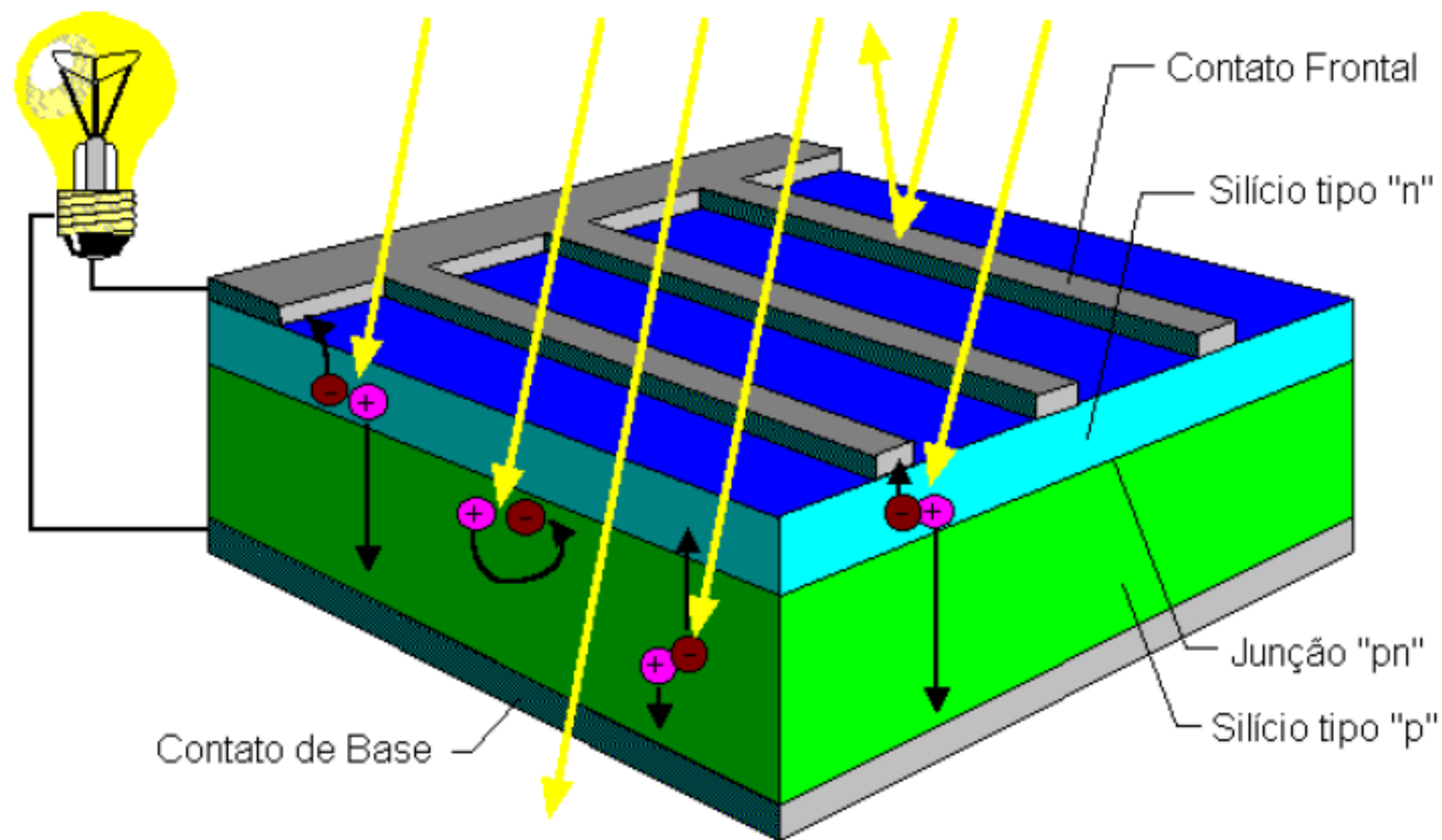


<https://www.cittadiniecologisti.it/>

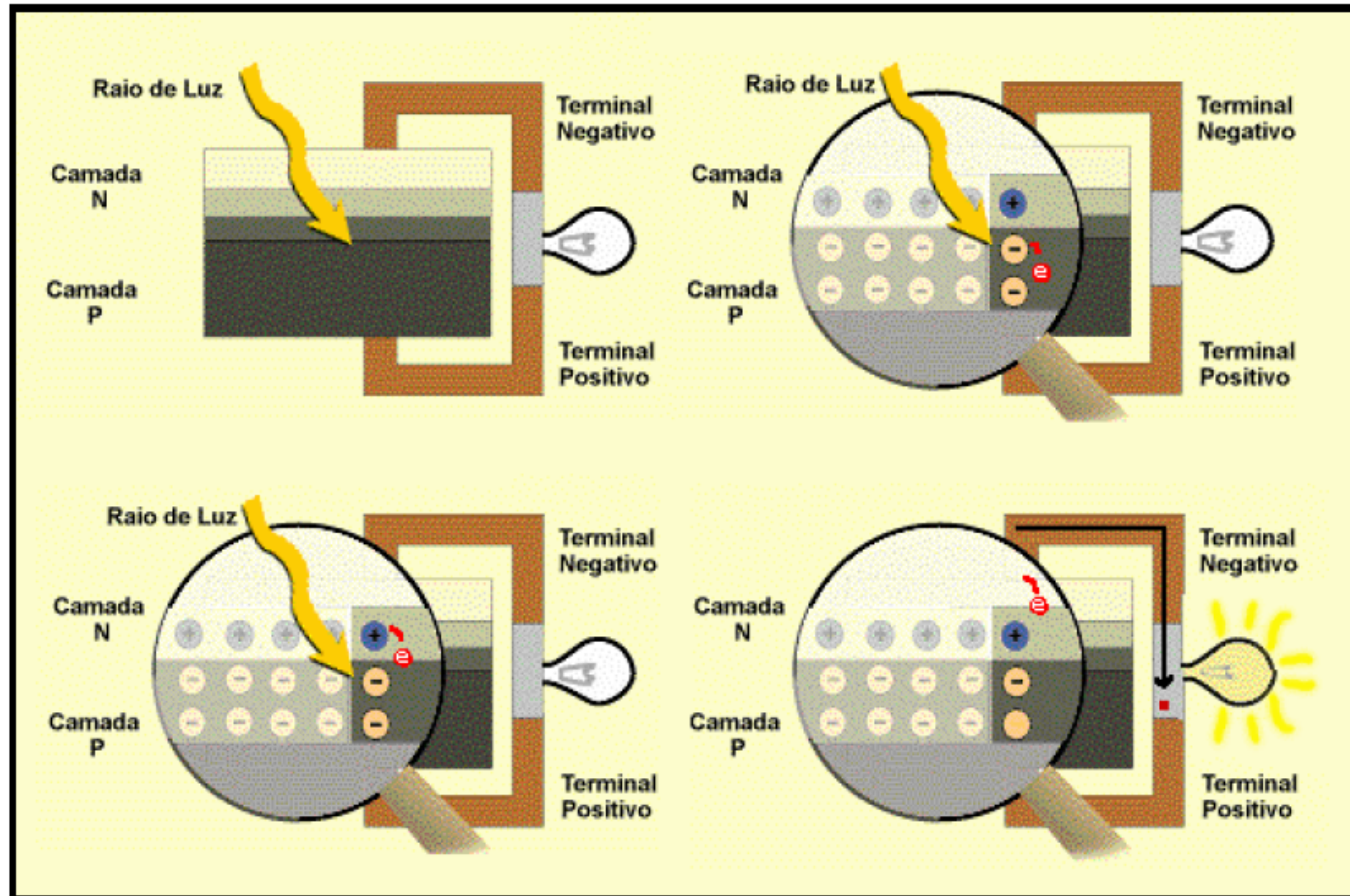


<https://peteletricaufjf.wordpress.com/>

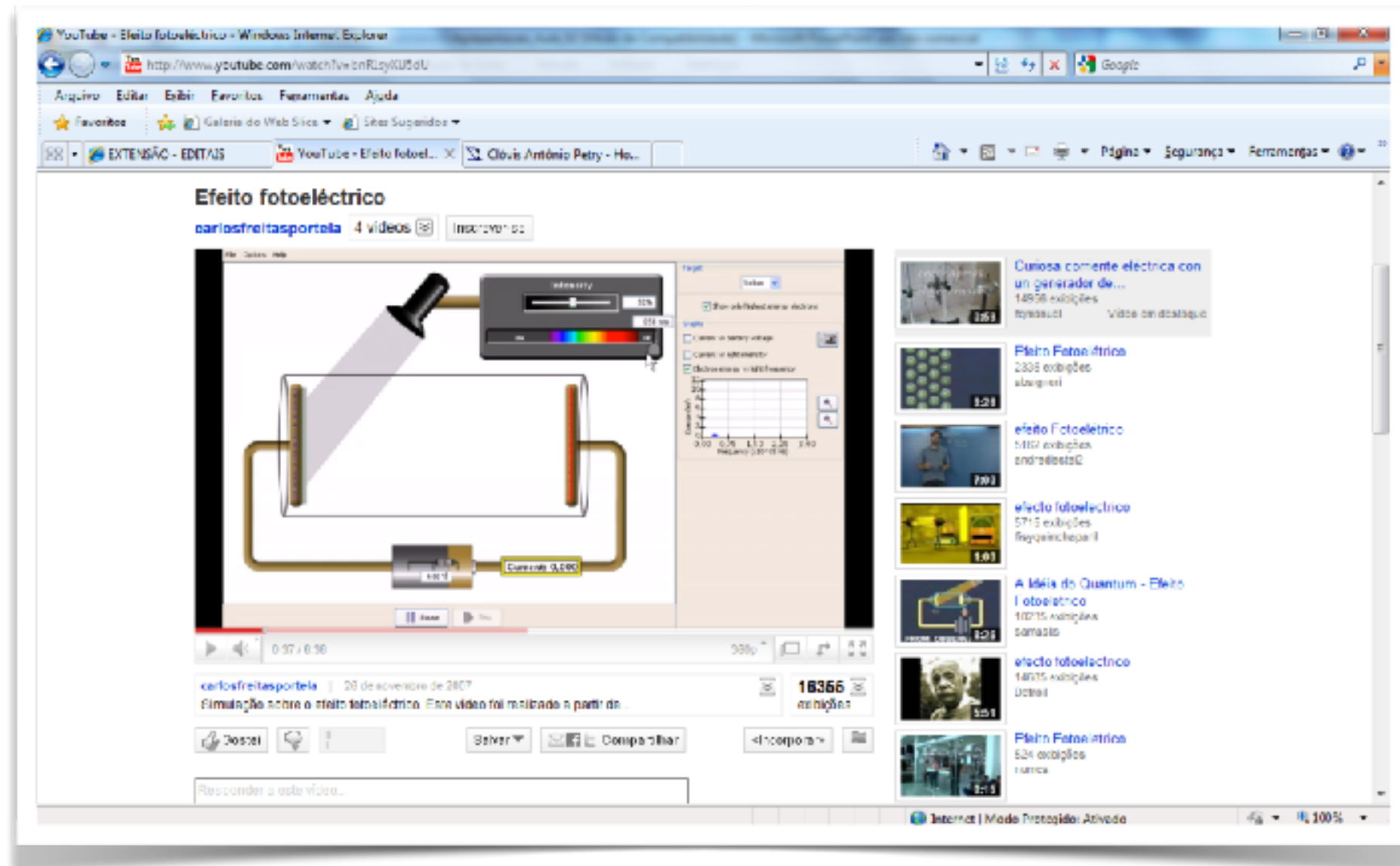
# Efeito fotovoltaico



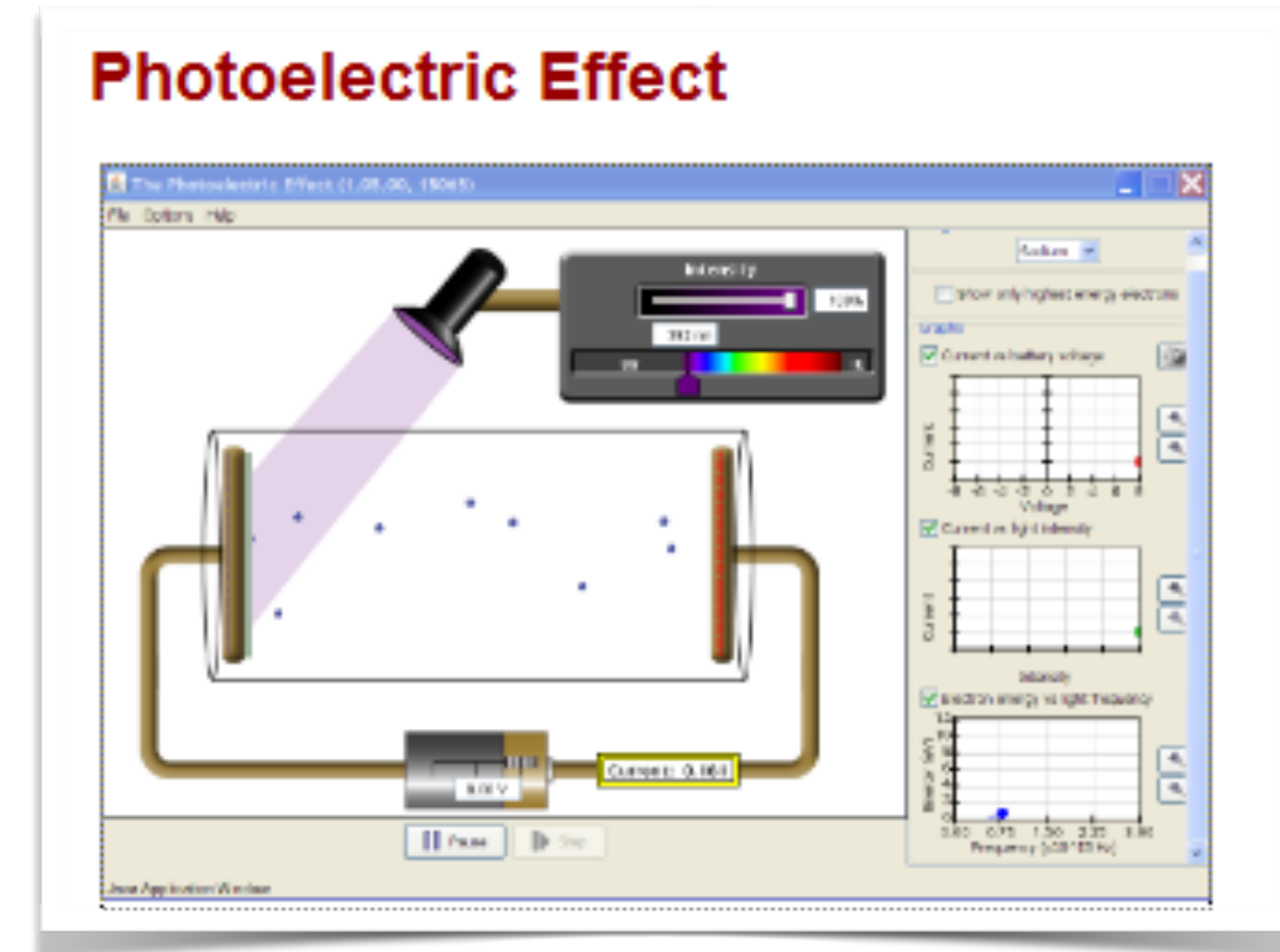
# Efeito fotovoltaico



# Efeito fotovoltaico

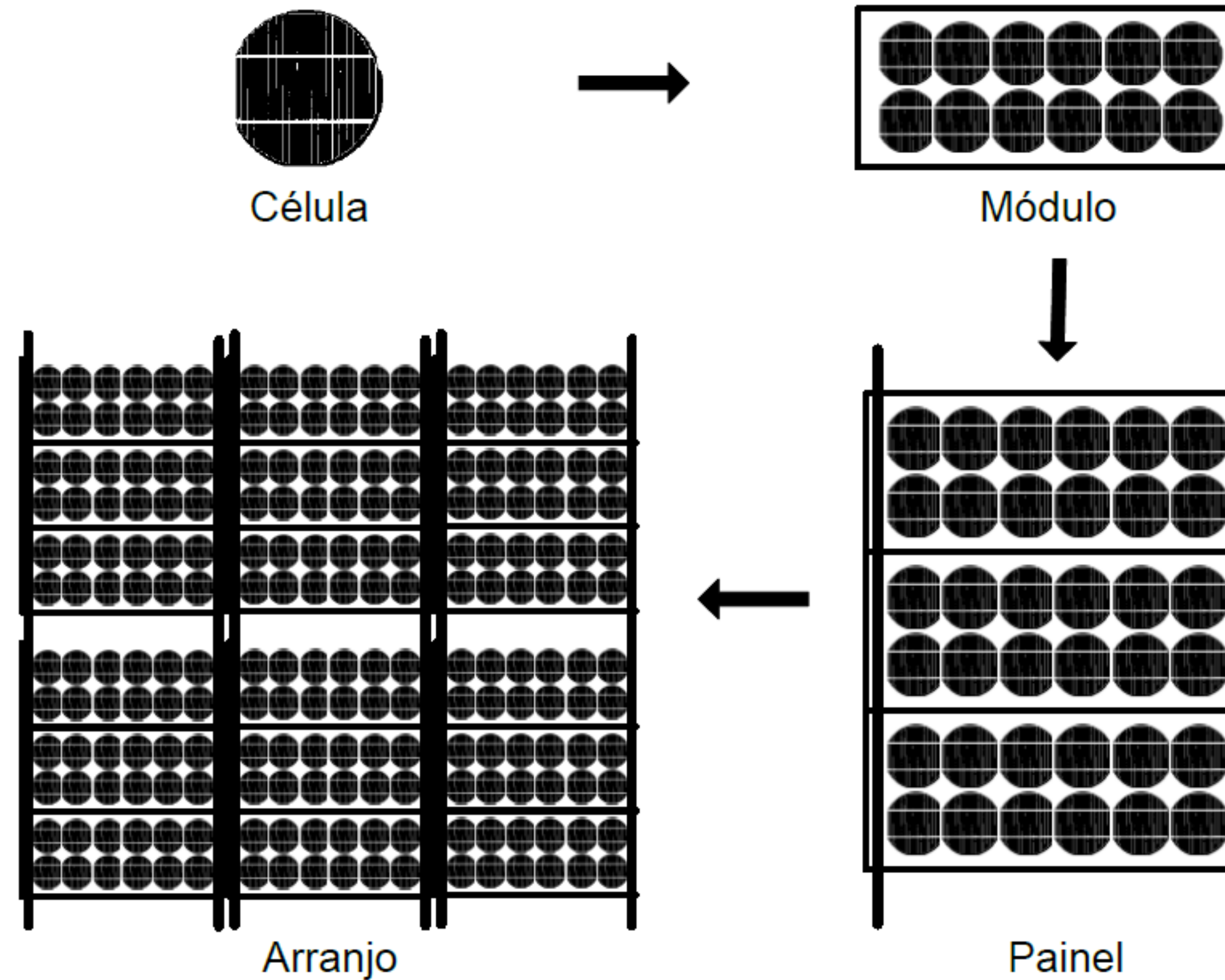


<http://www.youtube.com/watch?v=bnR1syXU5dU>



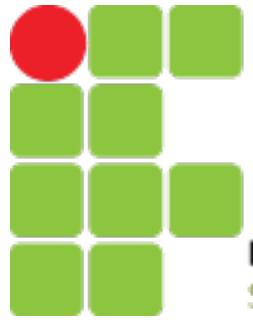
<http://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric>

# Células e arranjos fotovoltaicos

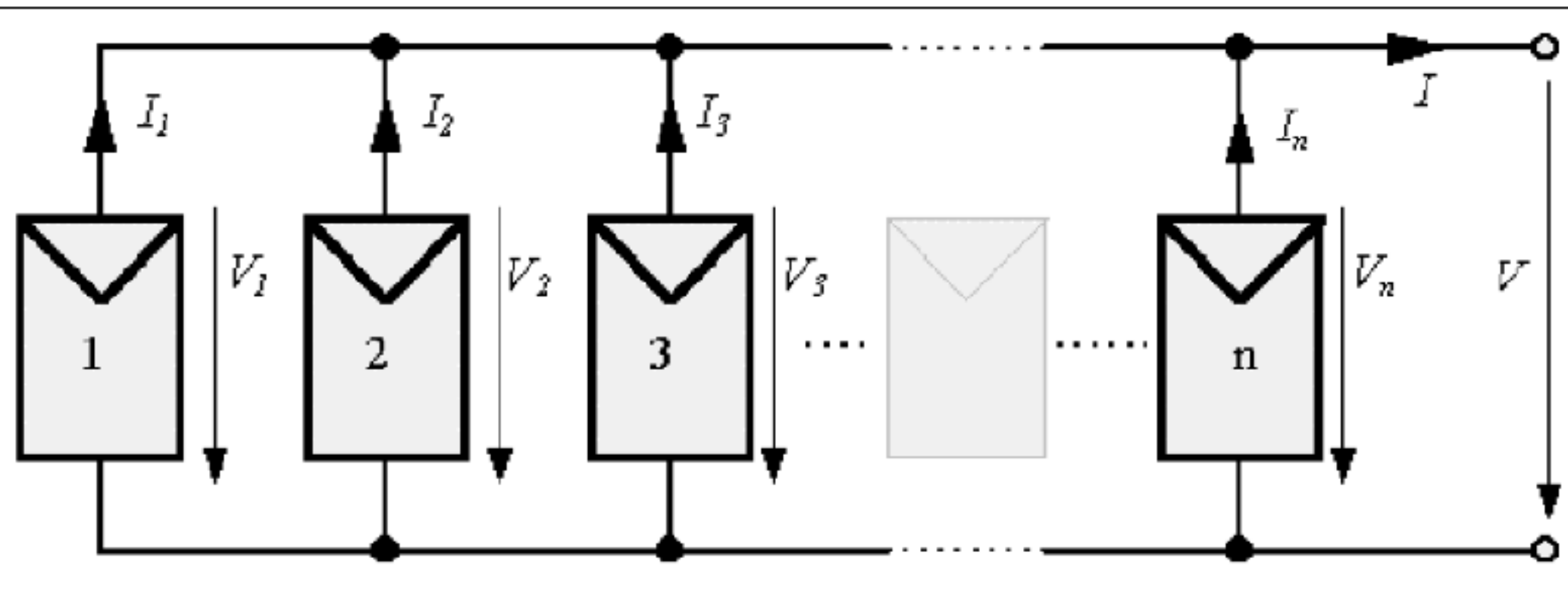


**Fonte:** COELHO, Roberto Francisco. Estudo dos Conversores Buck e Boost Aplicados ao Rastreamento de Máxima Potência de Sistemas Solares Fotovoltaicos. 2008. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

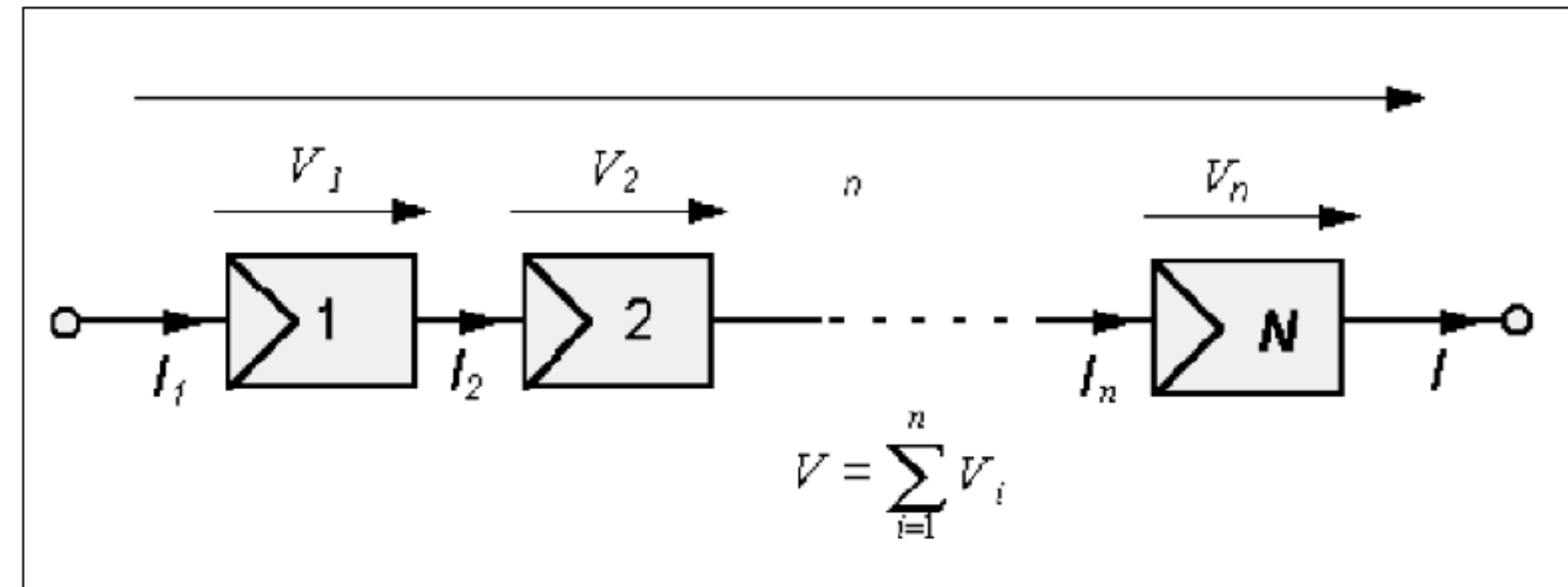




# Células e arranjos fotovoltaicos

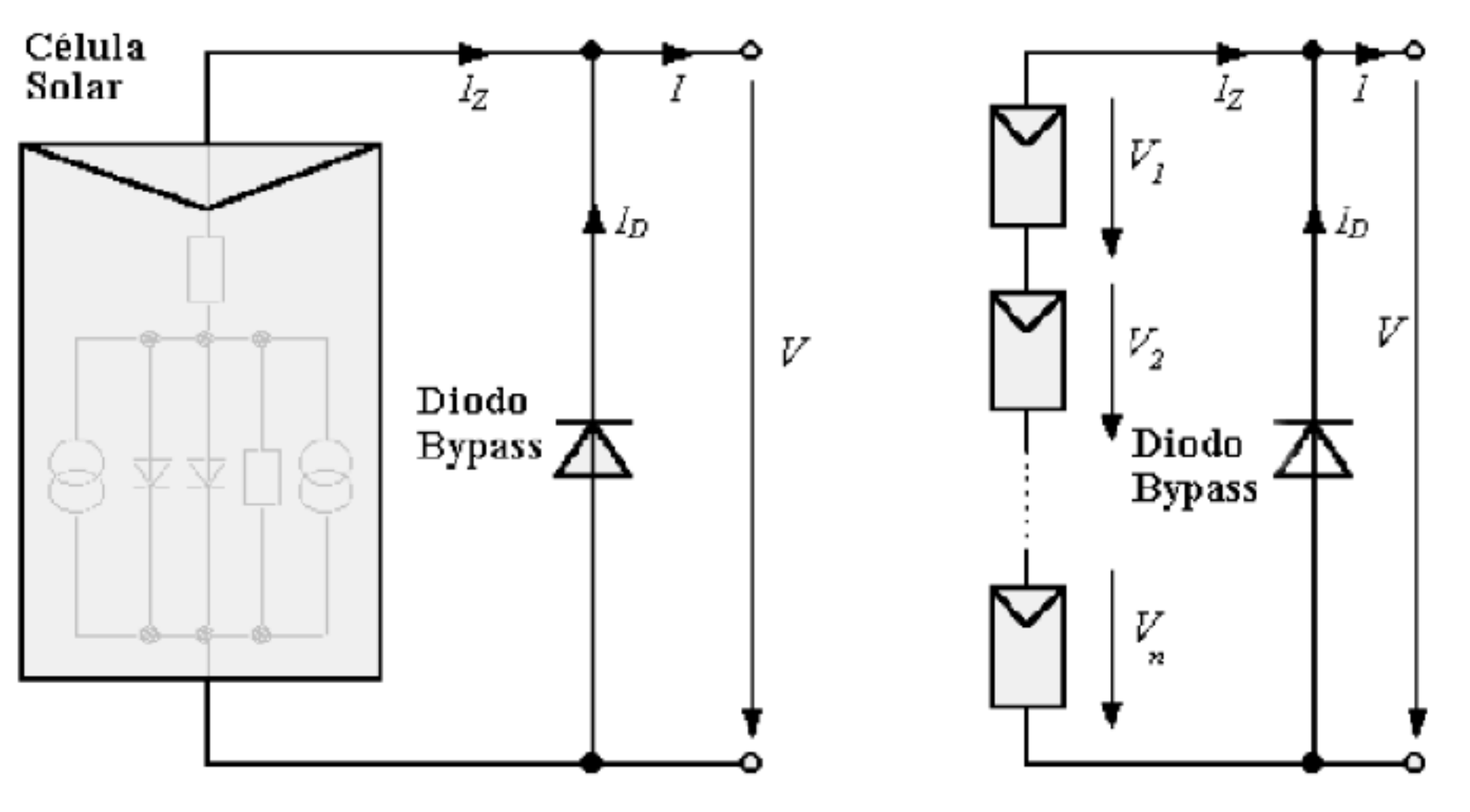


Células em Paralelo

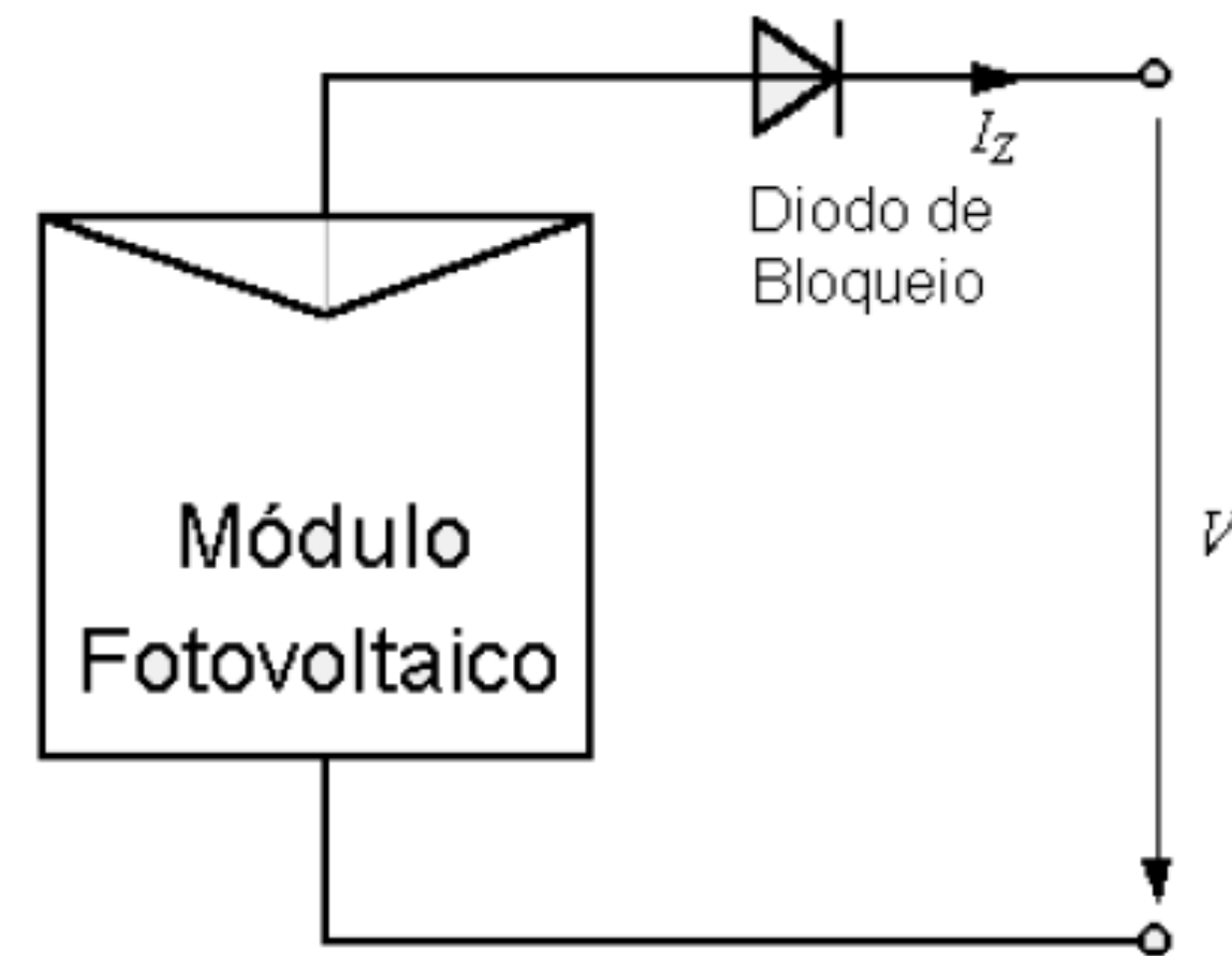


Células em Série

# Células e arranjos fotovoltaicos



Diodo de Bypass



Diodo de Bloqueio

## Tipos de células

Os principais tipos de células atualmente em uso são:

- Silício monocristalino;
- Silício policristalino;
- Silício amorfo hidrogenado.

**Usina Solar Cidade Azul, Tubarão - SC:**

- Potência de 3 MWp em 3 x 1 MWp;
- Silício amorfo/microcristalino ( $\alpha$ -Si/ $\mu$ c-Si);
- Silício multicristalino/policristalino (p-Si);
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS);
- Nome atual: Usina Fotovoltaica Nova Aurora.

<https://www.engie.com.br/complexo-gerador/usinas/usina-fotovoltaica-nova-aurora/>

**Central Eólica Tubarão, Tubarão - SC:**

- Potência de 2,1 MW;
- Torre de 120 metros;
- Rotor com diâmetro de 110 metros;
- Tecnologia nacional.

<https://www.engie.com.br/complexo-gerador/usinas/central-eolica-tubarao/>

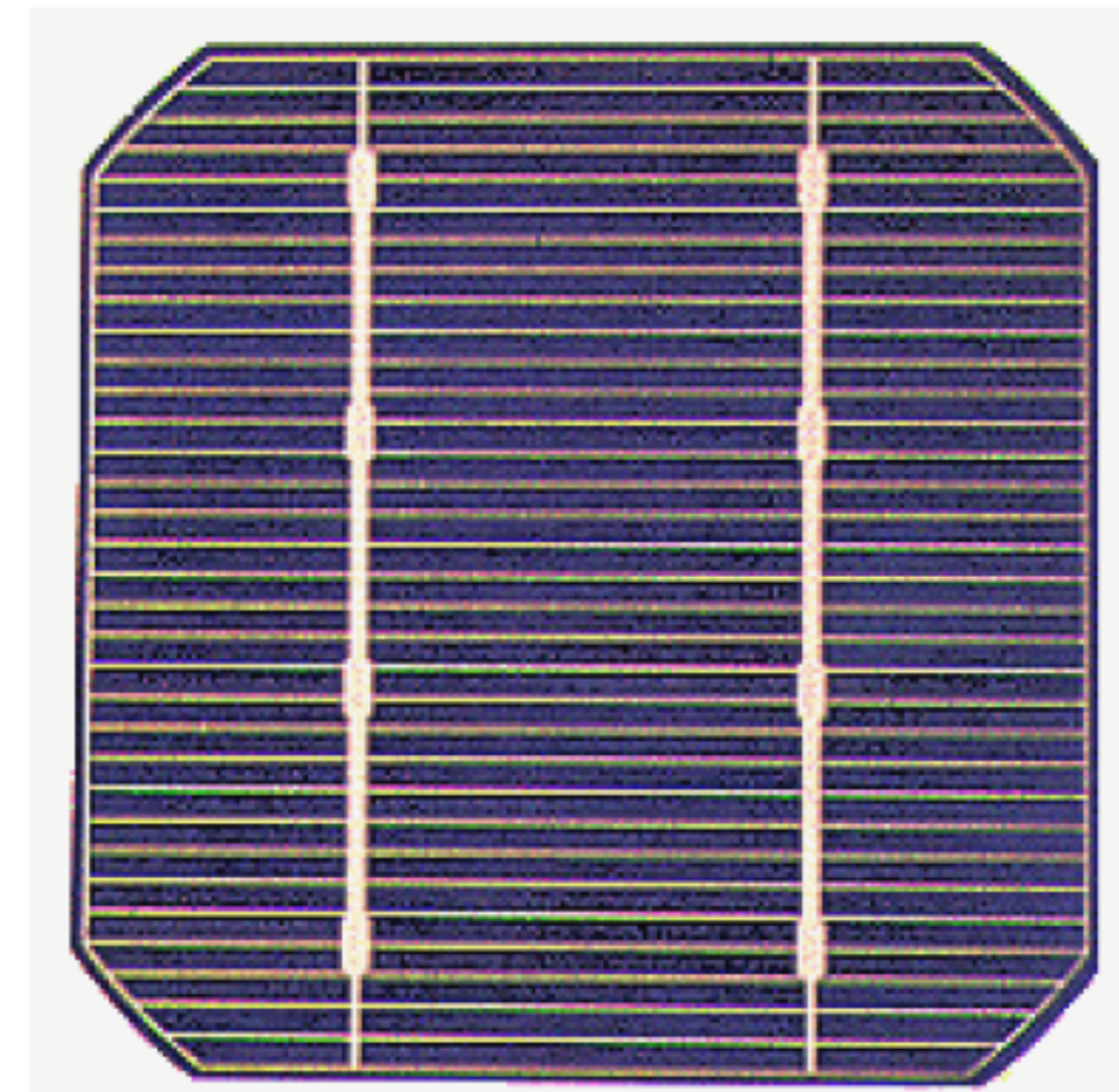


<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/fotov/blog/2018/02/28/usina-solar-cidade-azul-usca/>

## Tipos de células

### Silício monocristalino:

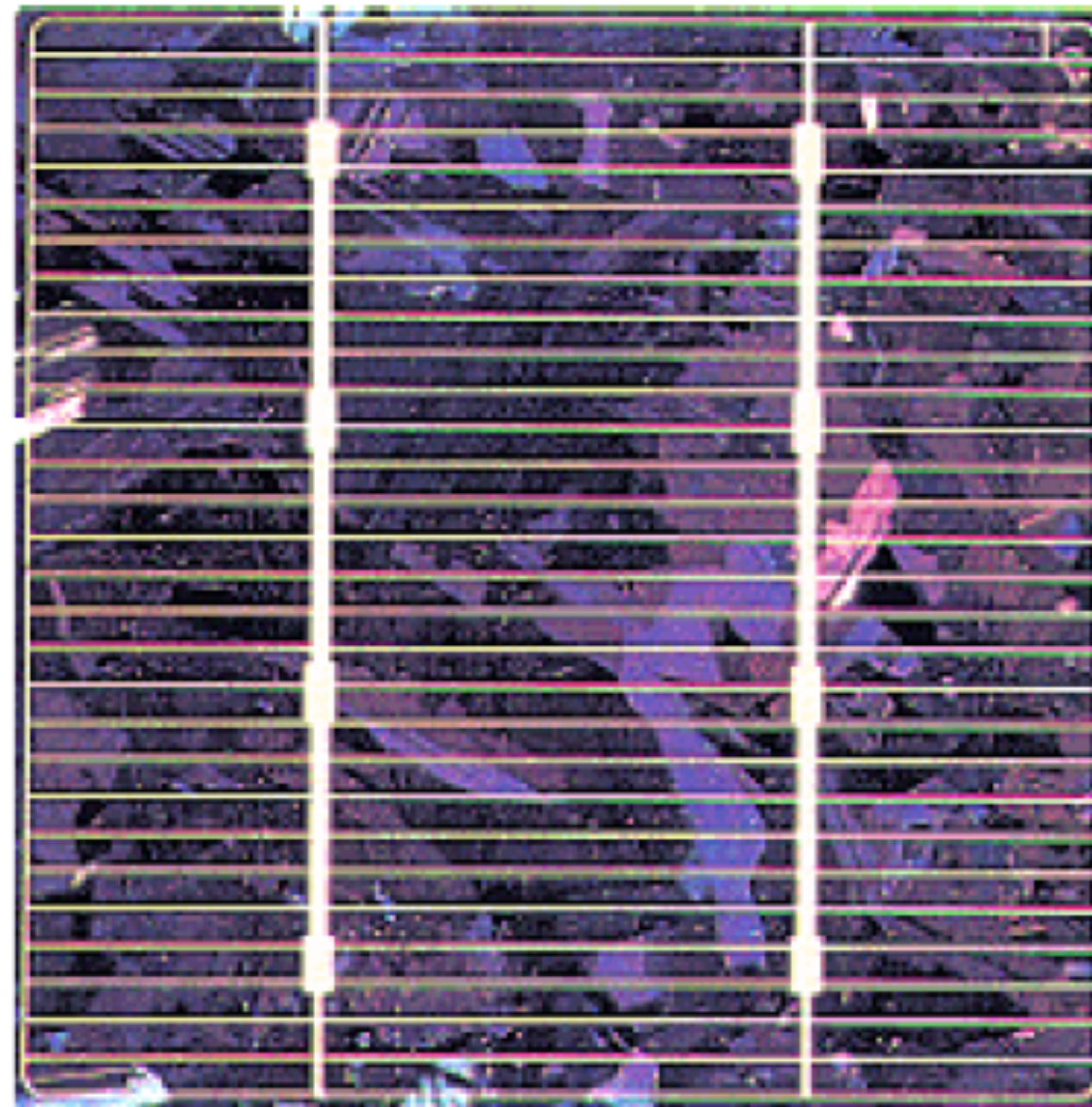
- Junção P-N;
- Poucas imperfeições - poucas recombinações;
- Eficiência de 15 a 18%;
- Baixo coeficiente de absorção - espessura aproximada de  $500\mu\text{m}$ ;
- Custo elevado;
- Utilização em aplicações espaciais - painéis fotovoltaicos para satélites;
- Necessidade de texturização - diminuição das perdas reflexão no espectro da luz visível;
- Coloração da camada anti-refletora.



# Tipos de células

## Silício policristalino:

- Junção P-N;
- Mais imperfeições que o monocristalino - mais recombinações;
- Eficiência próxima a do monocristal;
- Custo menor que o do monocristal - processo de produção de menor conteúdo energético;
- Coloração da camada anti-refletora.



# Tipos de células

## Silício amorfo hidrogenado:

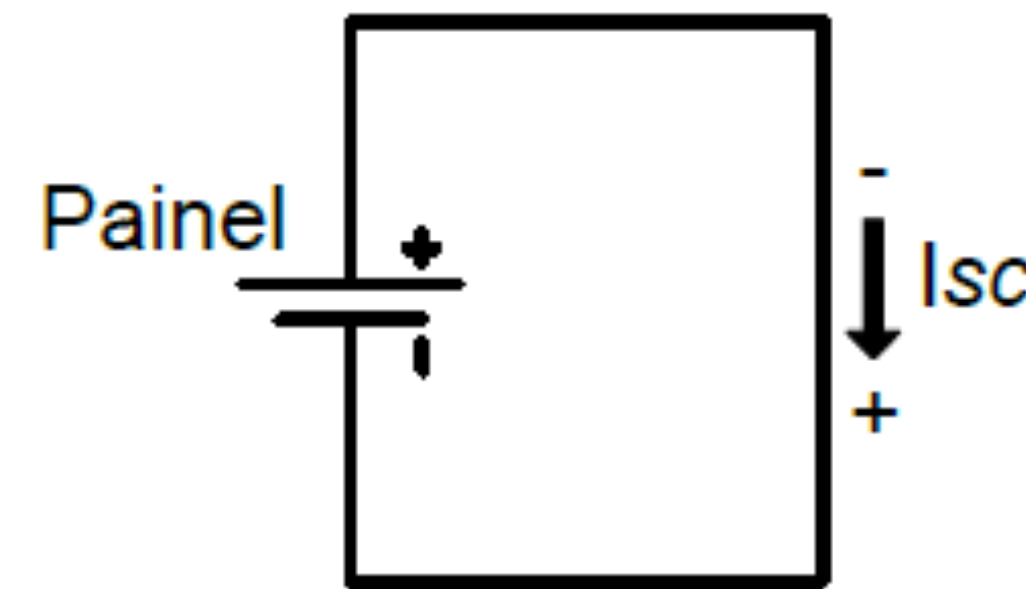
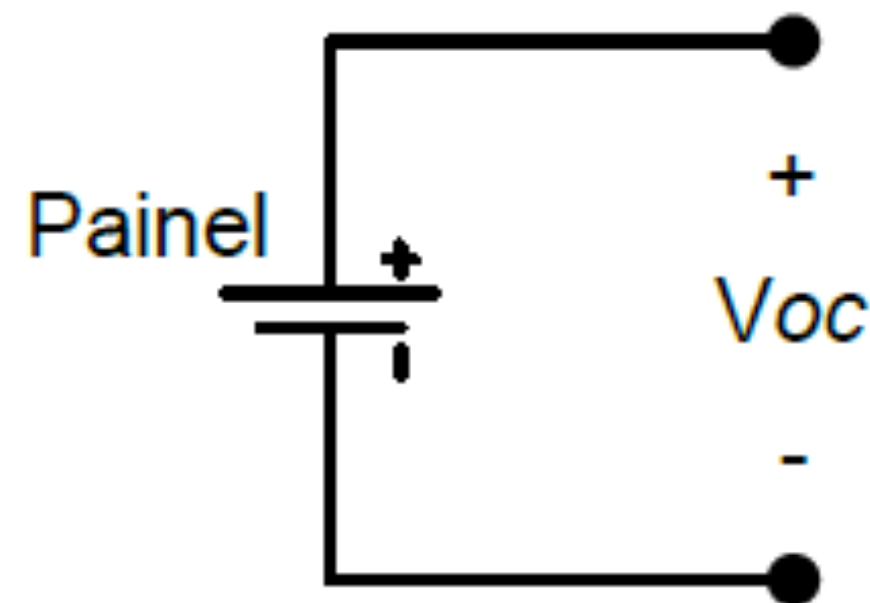
- Junção P-I-N - aumento da camada de depleção;
- Alto coeficiente de absorção - pequenas espessuras (menor que  $1\mu\text{m}$ );
- Montagem em diversos substratos (flexibilidade);
- Baixo custo - processo de produção mais barato;
- Muitas imperfeições - muitas recombinações;
- Eficiência de 6 a 8%.



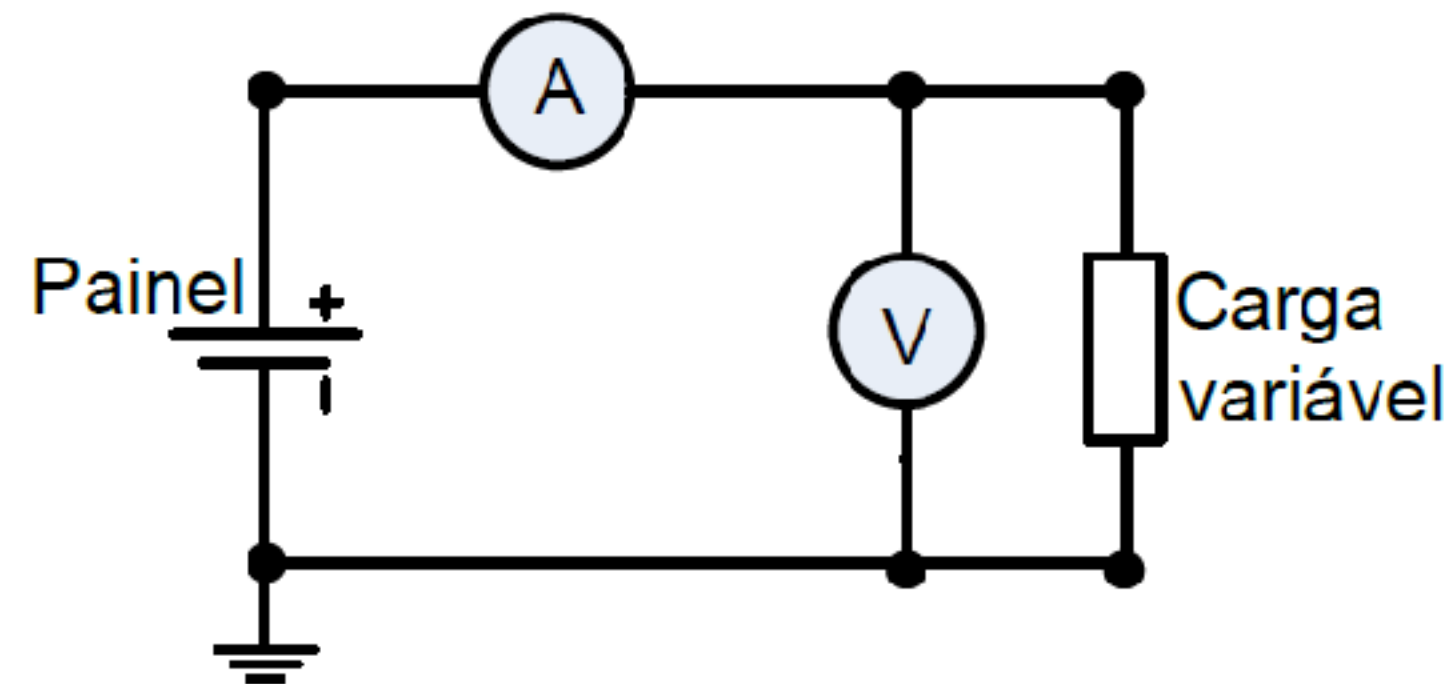
# Curva característica de um módulo fotovoltaico

## Grandezas importantes:

- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ );
- Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ );
- Potência máxima ( $P_m$ );
- Tensão no ponto de máxima potência ( $V_{mpp}$ );
- Corrente no ponto de máxima potência ( $I_{mpp}$ ).



# Curva característica de um módulo fotovoltaico

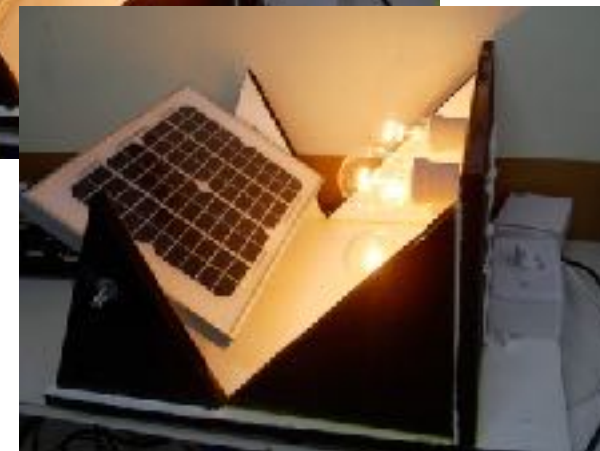
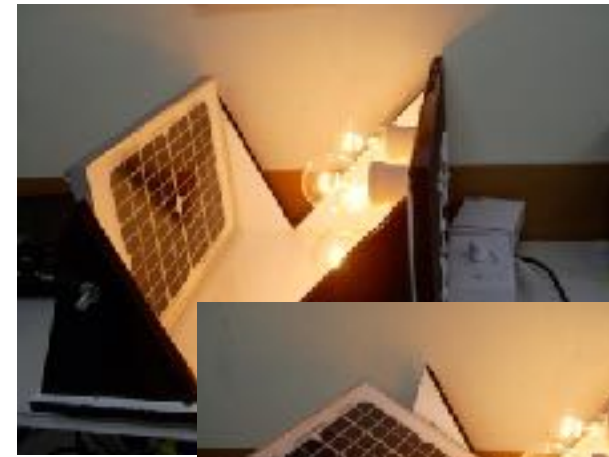


Processo Manual

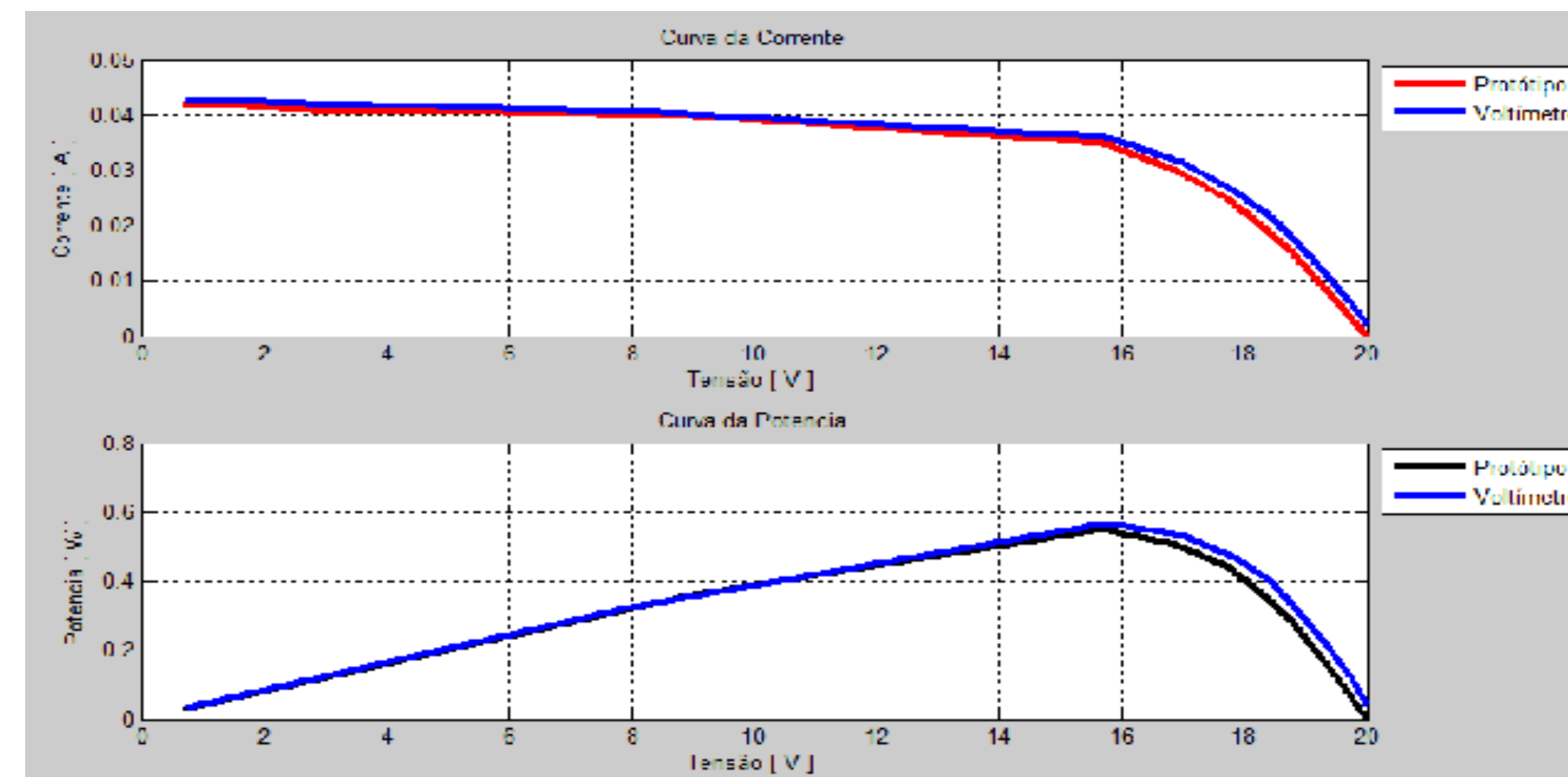
Fonte: SANTOS, Bernardo Rogowski. Desenvolvimento de um Traçador de Curva Característica para Painéis Fotovoltaicos. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Tecnólogo em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.



# Curva característica de um módulo fotovoltaico



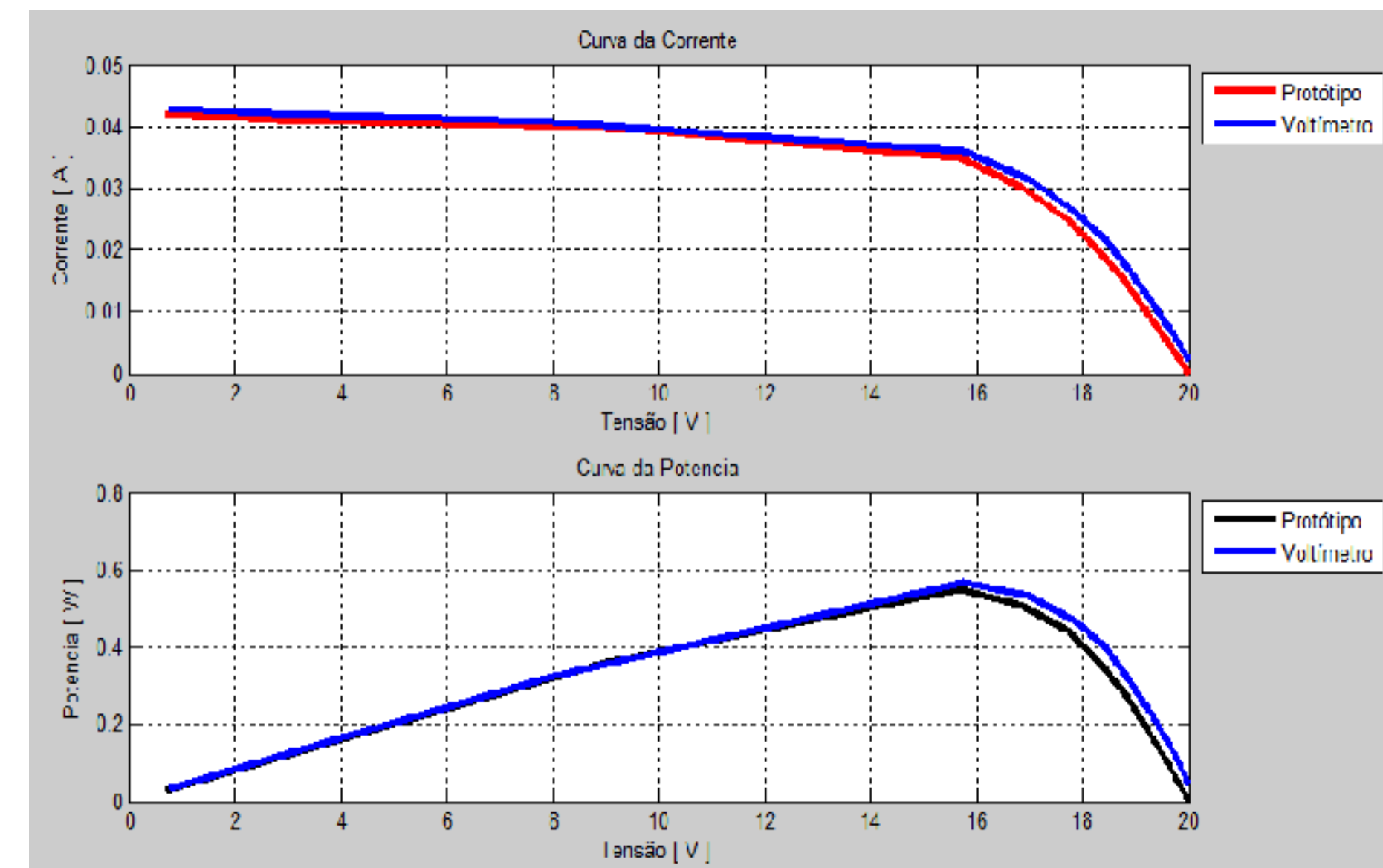
Processo Semi-Automatizado



Fonte: SANTOS, Bernardo Rogowski. Desenvolvimento de um Traçador de Curva Característica para Painéis Fotovoltaicos. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Tecnólogo em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

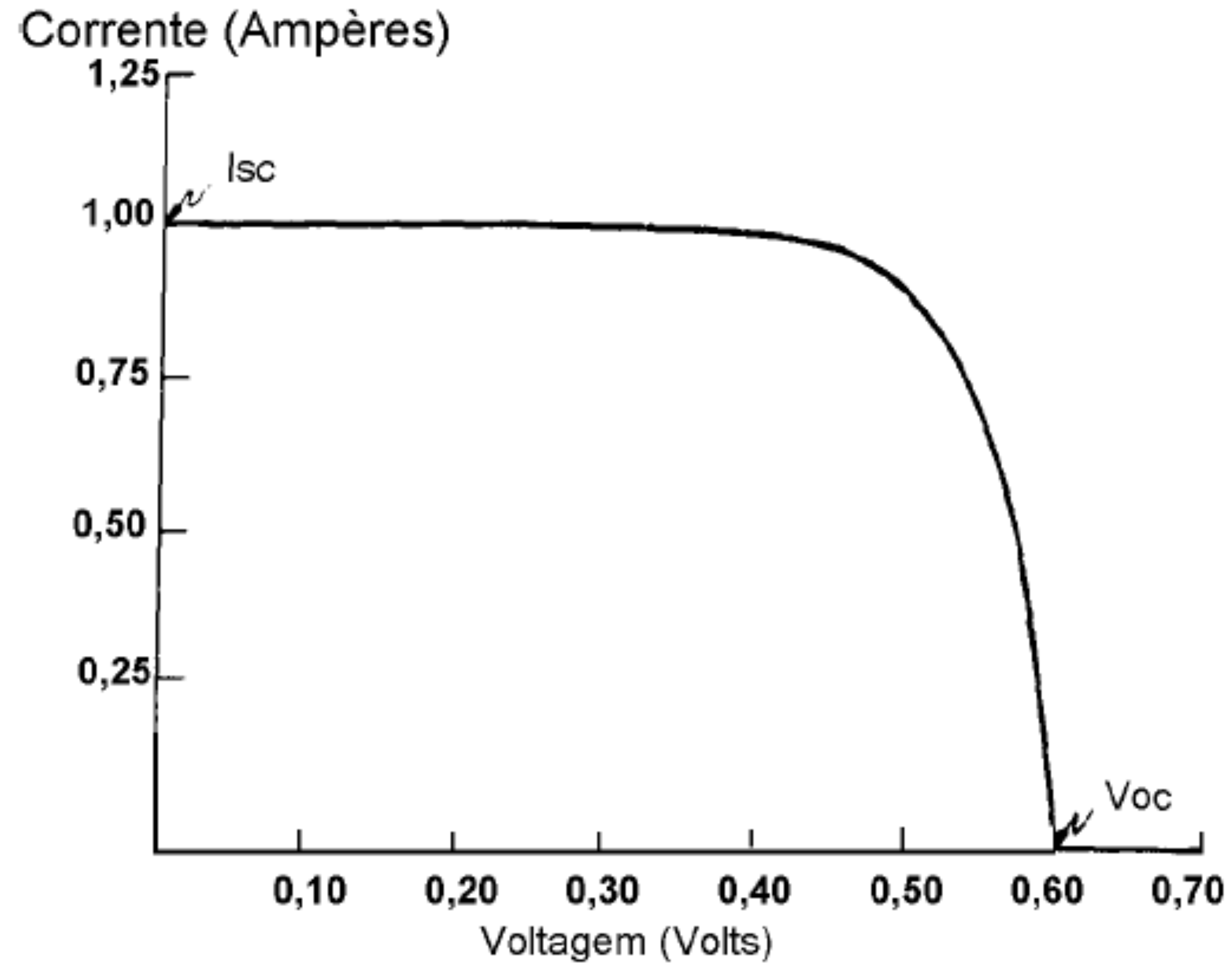
# Curva característica de um módulo fotovoltaico

Processo Automatizado

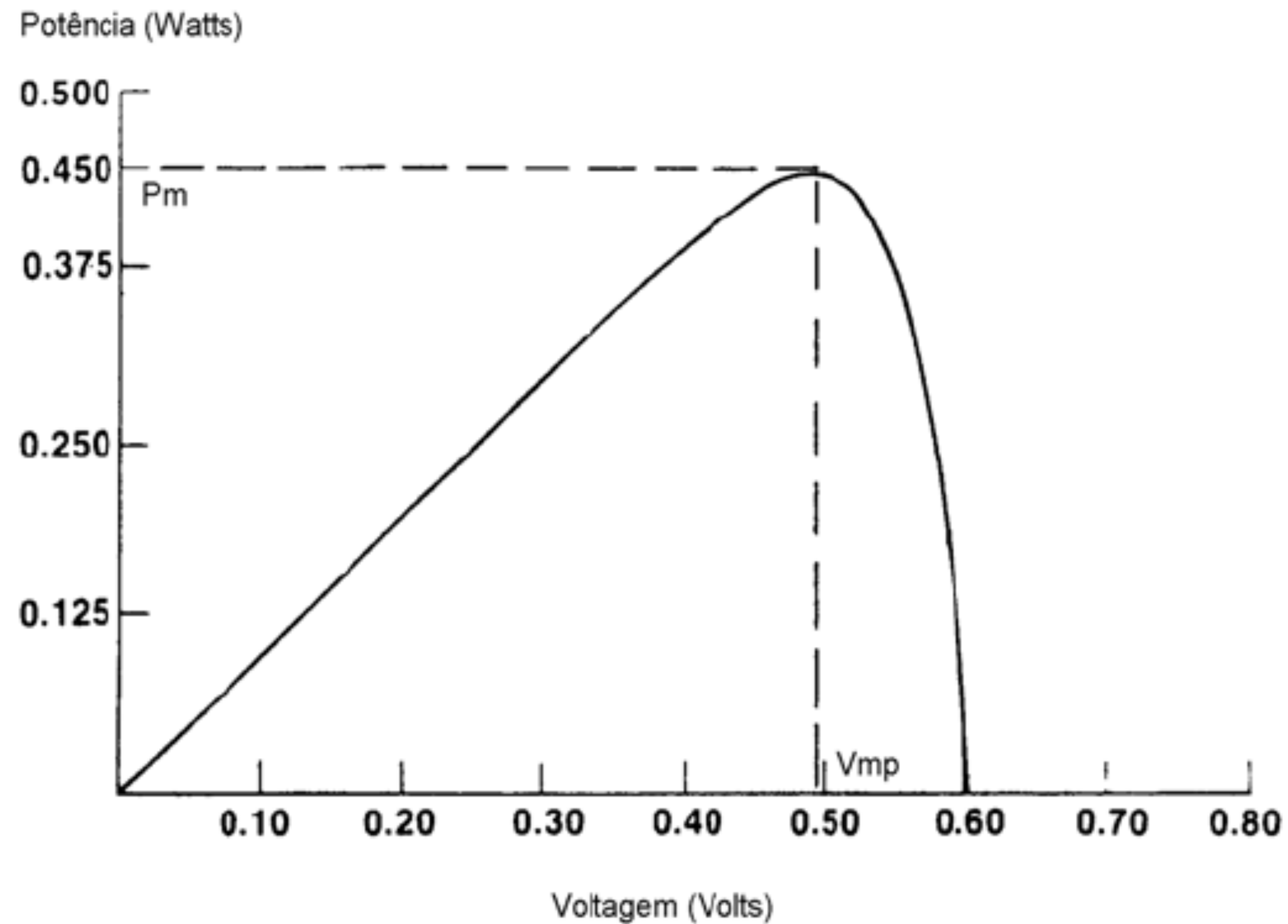


Fonte: SANTOS, Bernardo Rogowski. Desenvolvimento de um Traçador de Curva Característica para Painéis Fotovoltaicos. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso - Tecnólogo em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

## Curva característica de um módulo fotovoltaico



## Curva característica de um módulo fotovoltaico



# Módulo fotovoltaico

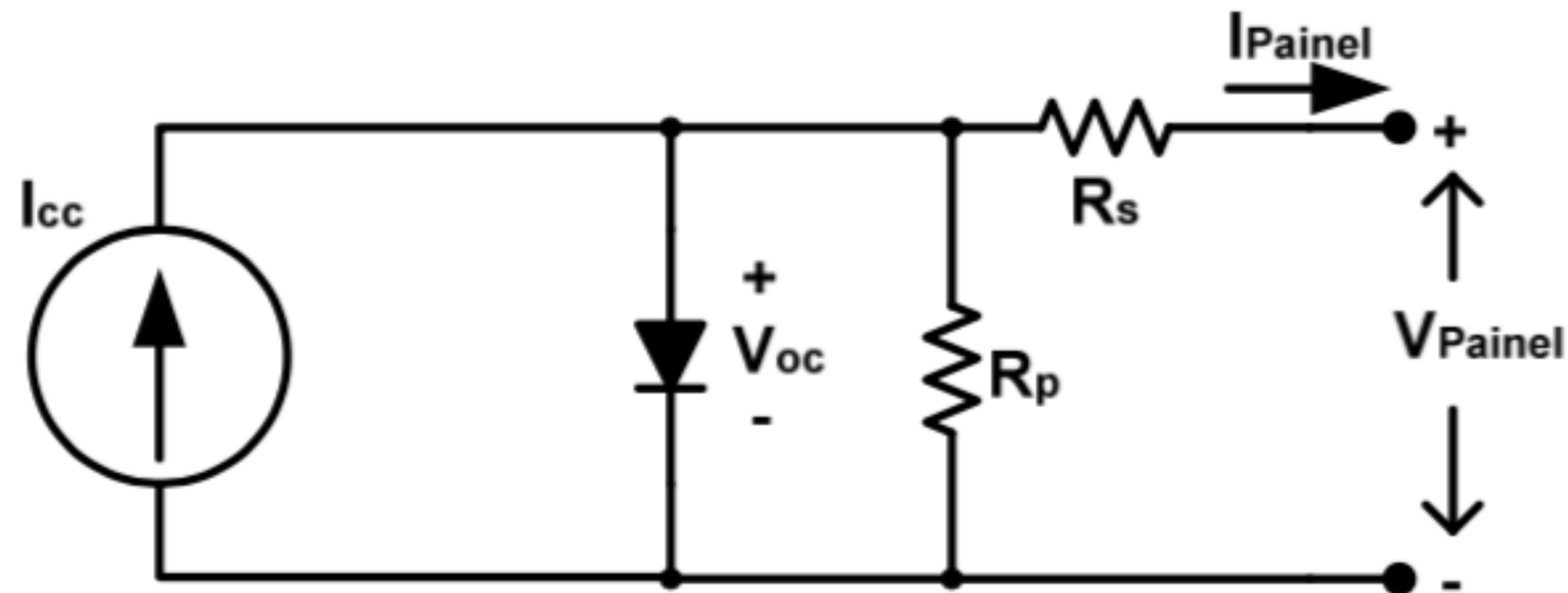
## Características elétricas do módulo:

- Potência máxima de 5 W;
- Corrente de curto-circuito de 0,310 A;
- Tensão de circuito aberto de 21,52 V;
- Corrente para o ponto de máxima potência de 0,282 A;
- Tensão para o ponto de máxima potência de 17,74 V.



# Módulo fotovoltaico

Circuito equivalente do módulo:



$V_{oc}$  = tensão de circuito aberto

$I_{cc}$  = corrente de curto-circuito

$V_{mpp}$  = tensão de máxima potência

$I_{mpp}$  = corrente de máxima potência

$R_s$  = resistência série

$R_p$  = resistência paralela

$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{mpp}}{I_{mpp}}$$

$$R_p = \frac{V_{oc}}{I_{cc} - I_{mpp}}$$

# Módulo fotovoltaico

## Simulação no Psim:

- Potência máxima de 3 W;
- Corrente de curto-circuito de 0,19 A;
- Tensão de circuito aberto de 21,7 V;
- Corrente para o ponto de máxima potência de 0,17 A;
- Tensão para o ponto de máxima potência de 17,4 V.



$$V_{oc} = 21,7V$$

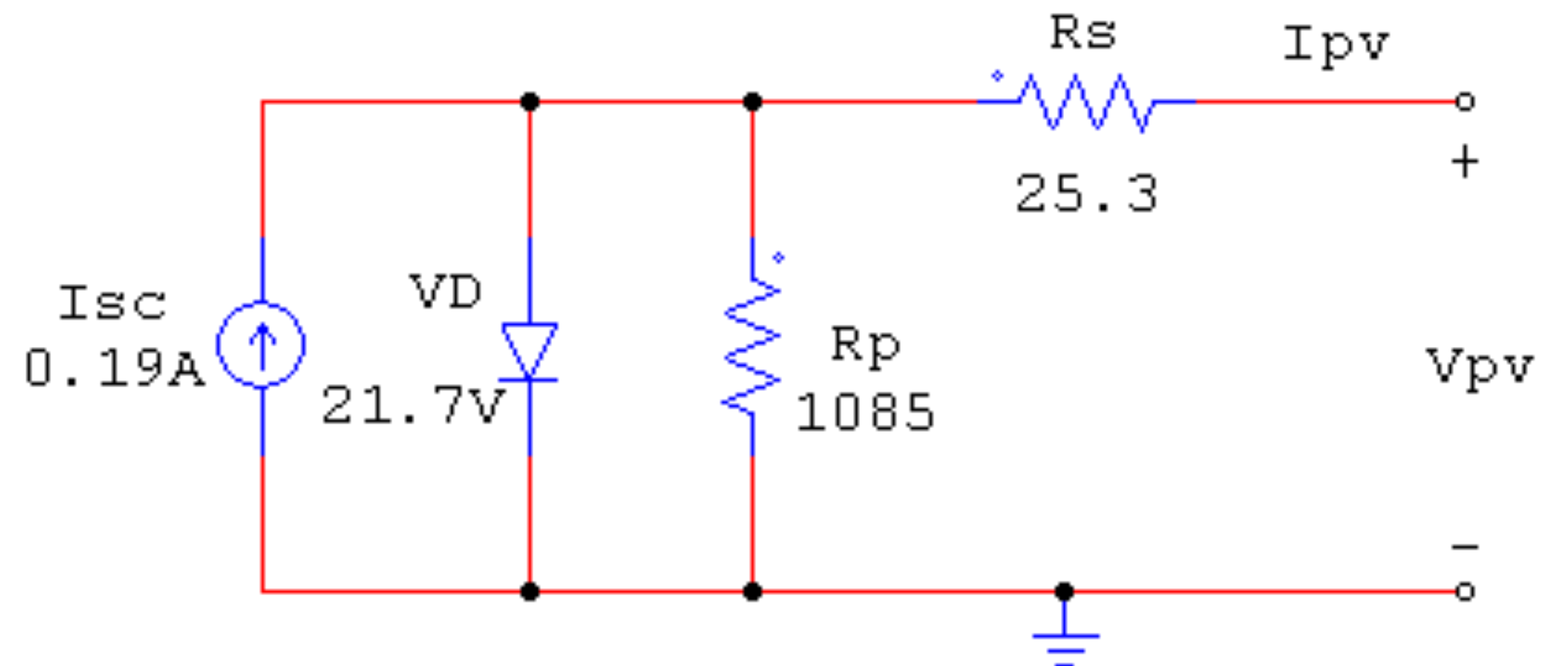
$$I_{cc} = 0,19A$$

$$V_{mpp} = 17,4V$$

$$I_{mpp} = 0,17A$$

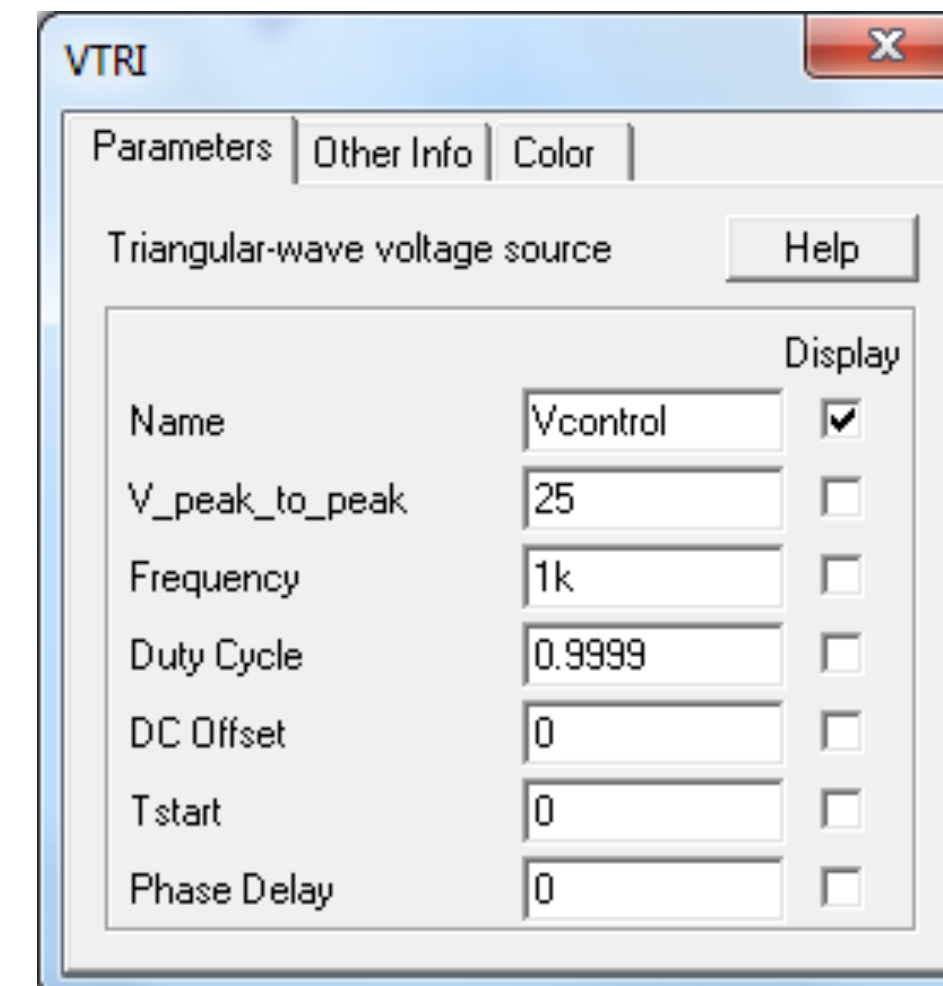
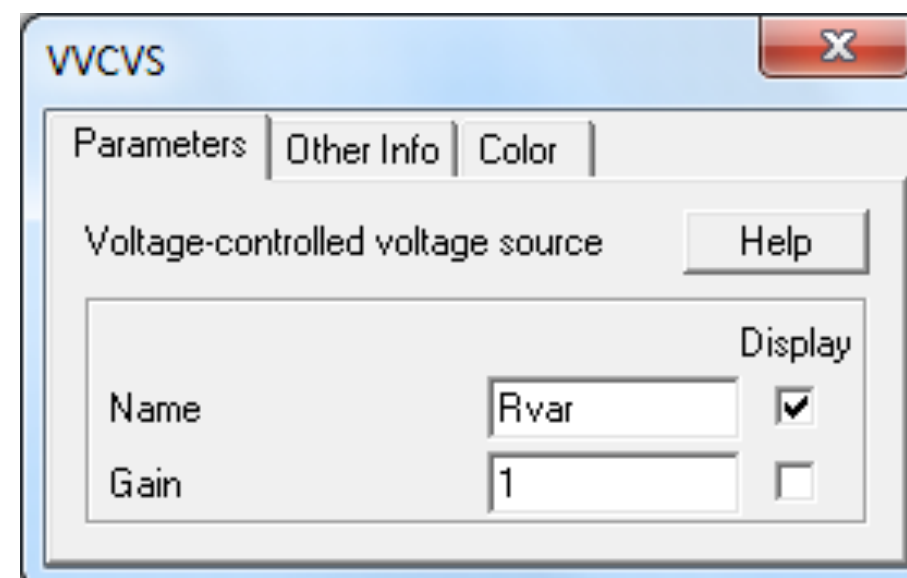
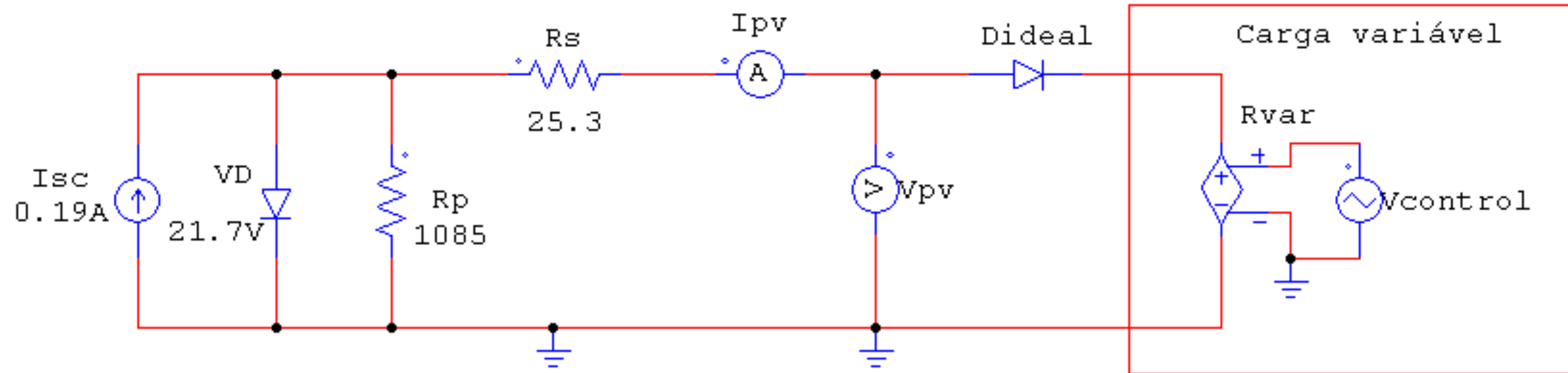
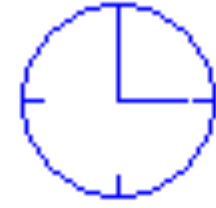
$$R_p = \frac{V_{oc}}{I_{cc} - I_{mpp}} = \frac{21,7}{0,19 - 0,17} = 1085\Omega$$

$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{mpp}}{I_{mpp}} = \frac{21,7 - 17,4}{0,17} = 25,3\Omega$$



# Módulo fotovoltaico

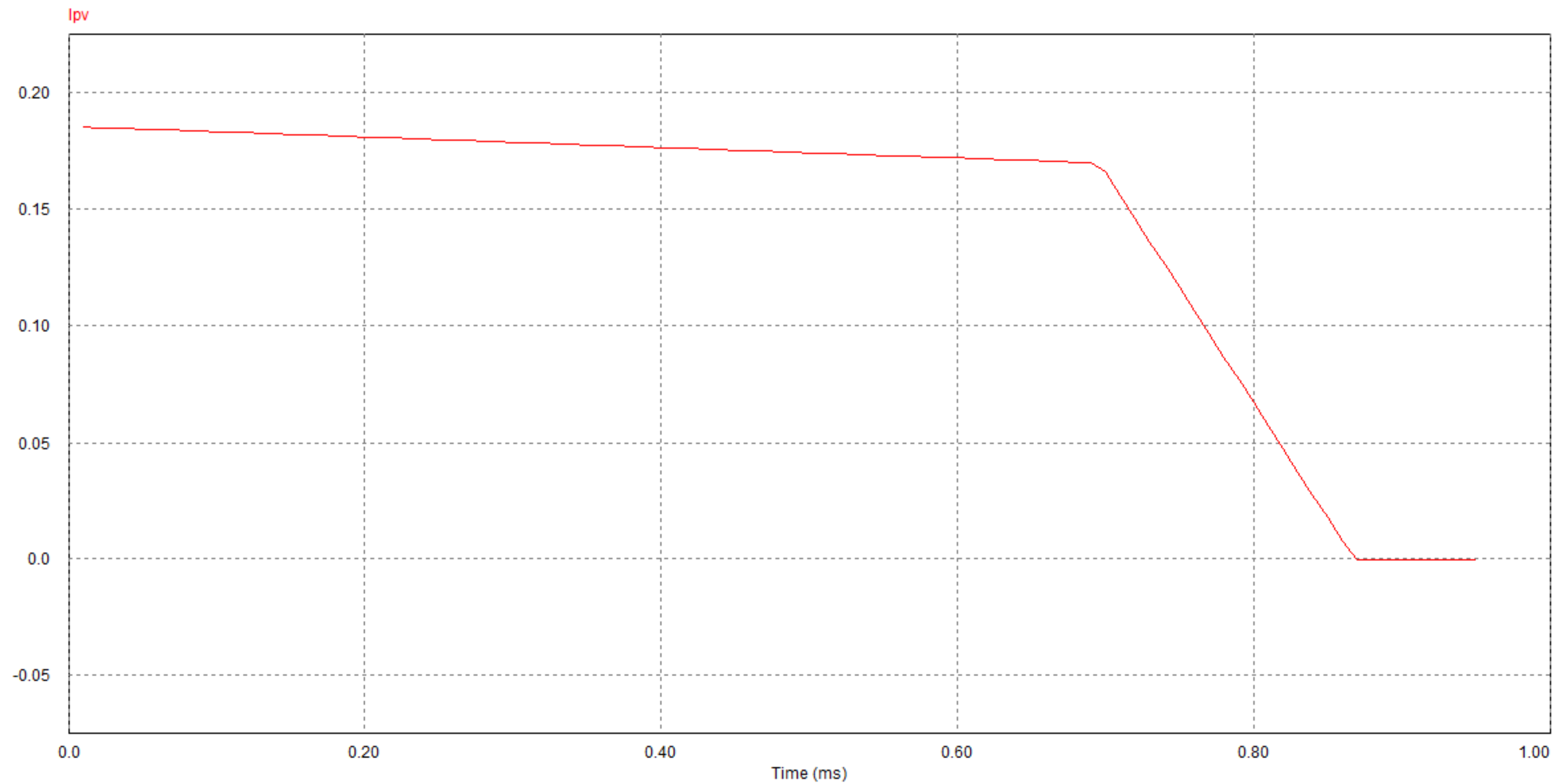
Simulação no Psim:





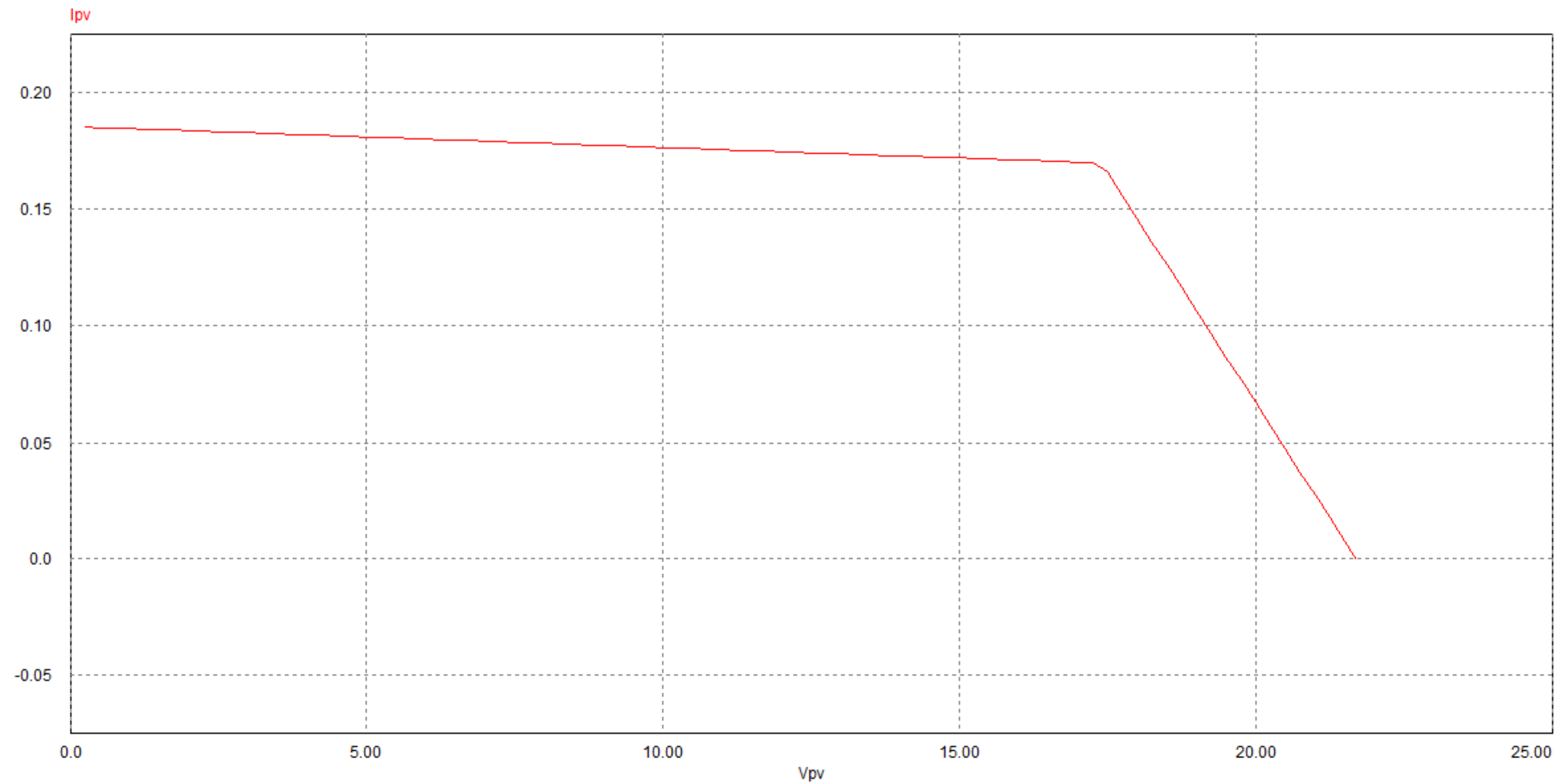
# Módulo fotovoltaico

Simulação no Psim:



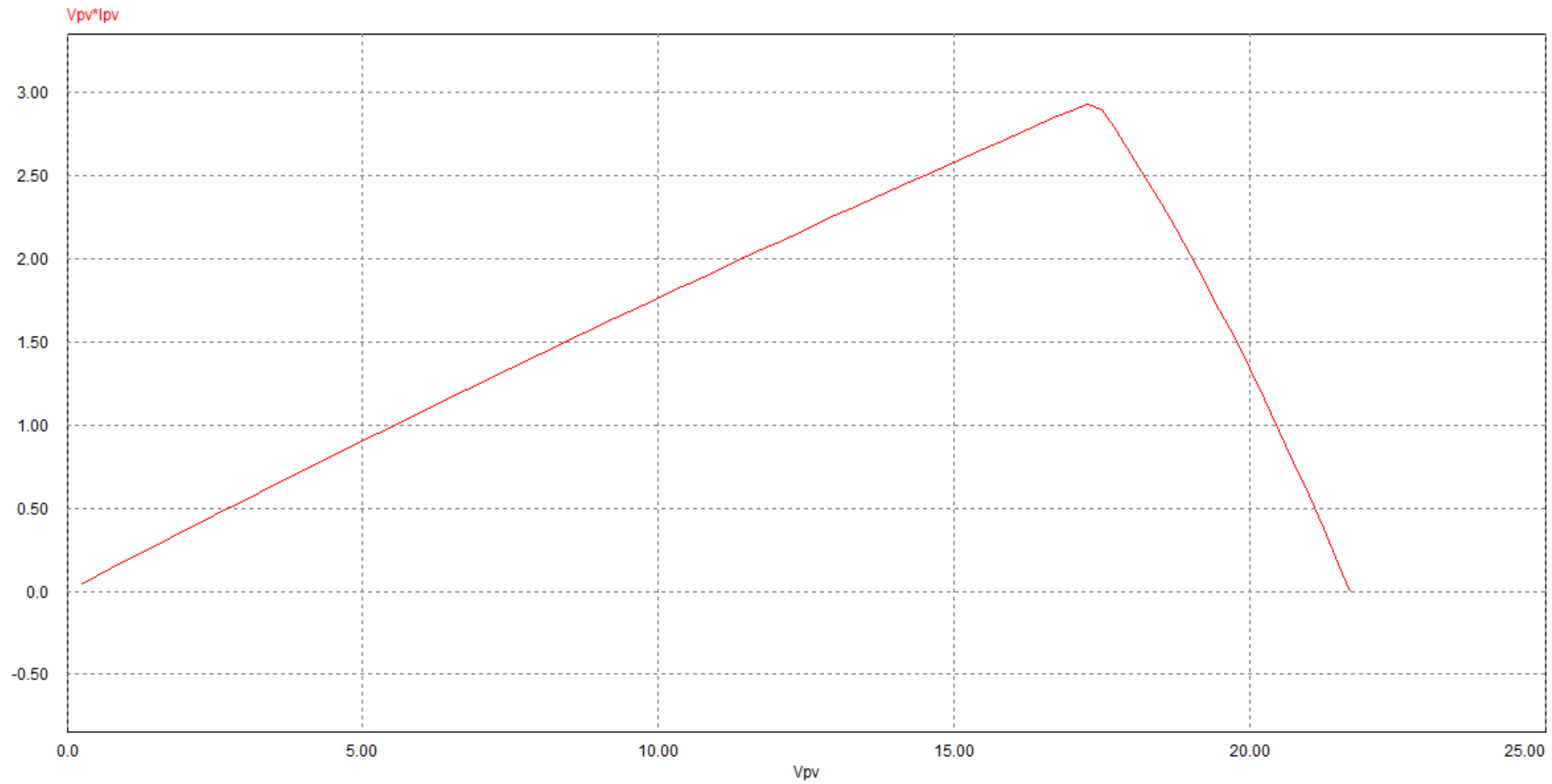
# Módulo fotovoltaico

Simulação no Psim:



# Módulo fotovoltaico

Simulação no Psim:



# Módulo fotovoltaico

Simulação no Psim:

