

# Elemento *PVSystem*

**Paulo Radatz**

Mestrando EPUSP - Enerq

**1º Encontro do Grupo de Usuários do  
OpenDSS Brasil**

05/09/2017

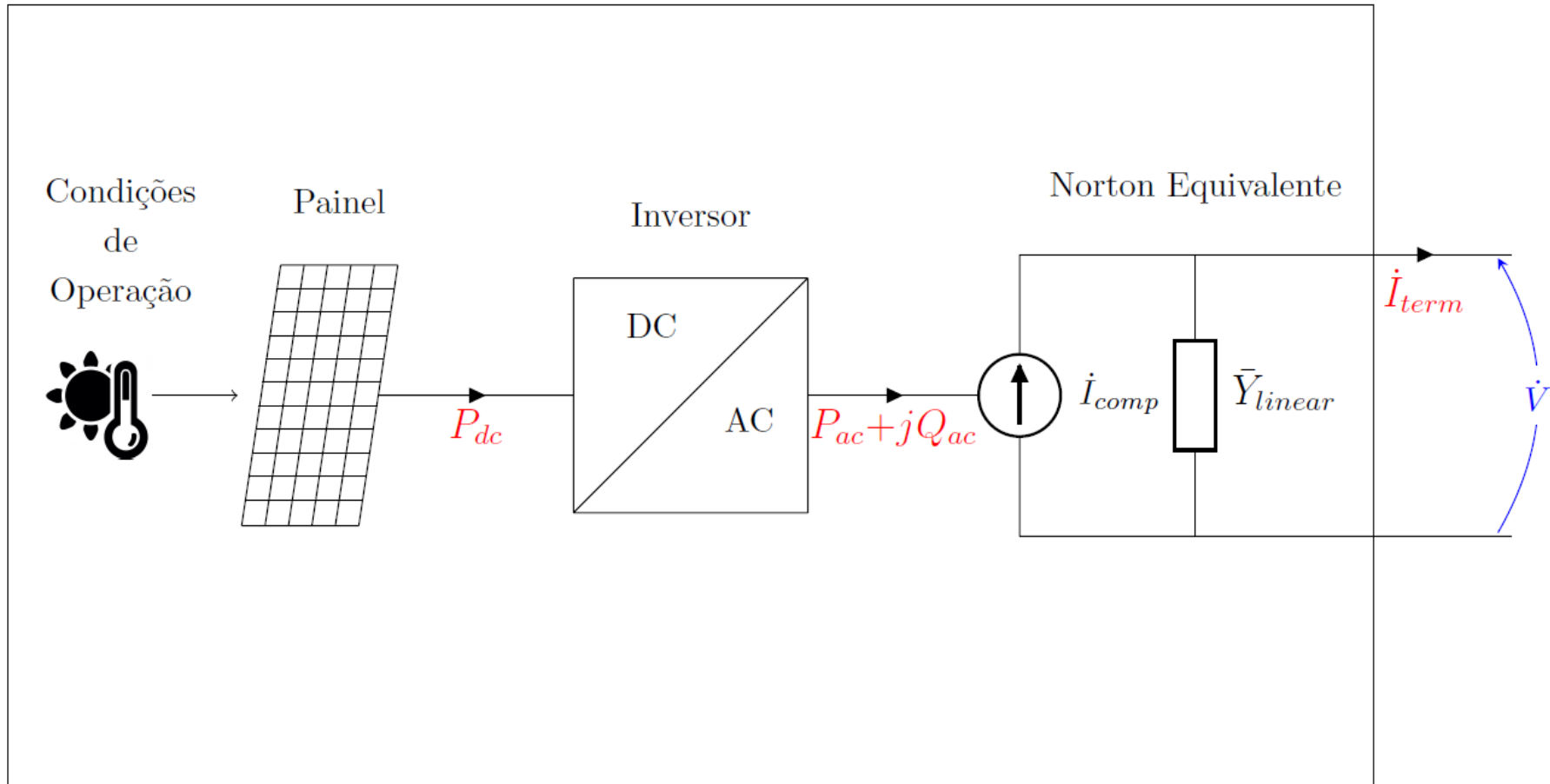


# Visão Geral

- Introdução ao *PVSystem*
  - Diagrama Esquemático do Modelo
- Dados de Entrada
  - Painel
  - Inversor
  - Condições de Operação
- Interação com a Rede
  - Potência DC Gerada pelo Painel
  - Potência AC Entregue à Rede
  - Norton Equivalente
- Exemplos de Códigos
  - Definição do Circuito Exemplo
    - Elemento *Circuit*
    - Curvas utilizadas pelo *PVSystem*
  - Simulação no Modo *SnapShot*
  - Simulação no Modo *Time-Series*

# Introdução ao *PVSystem*

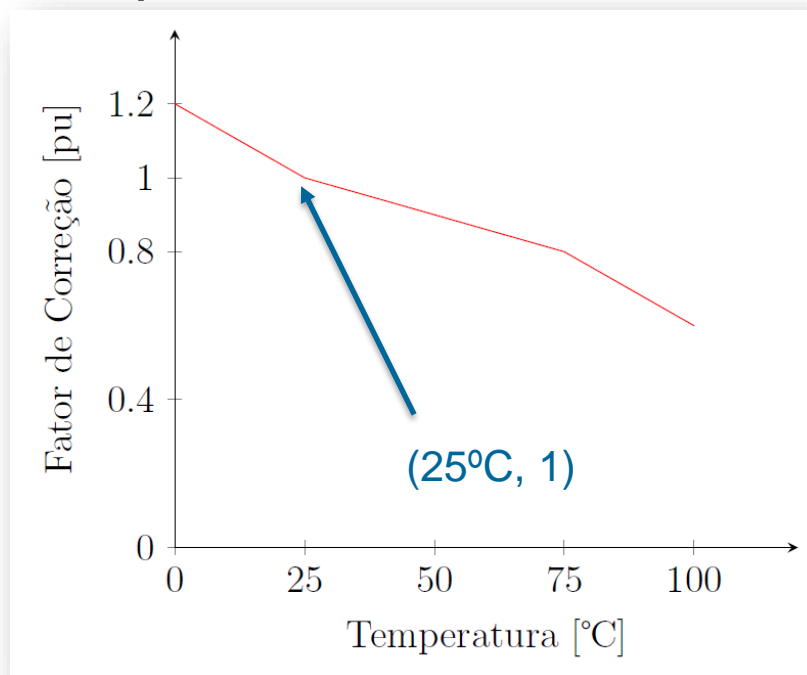
# Diagrama Esquemático do Modelo



# Dados de Entrada

# Painel

- Potência nominal do Painel:  $P_{mpp}$ 
  - Potência definida para radiação de  $1\text{kW/m}^2$ , temperatura nominal e operação no ponto de máxima potência
- Curva do fator de correção da potência gerada pelo painel em função de sua temperatura:  $P$ - $T$ Curve



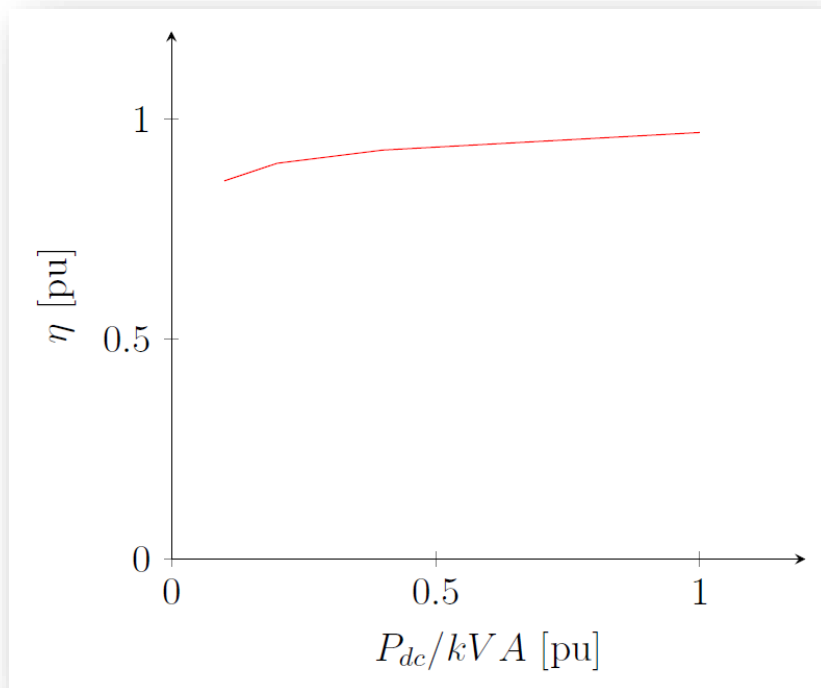
O fator de correção é unitário para a temperatura nominal

# Inversor

- Potência aparente nominal do inversor: *kVA*
- Tensão AC nominal do inversor: *kV*
- Quantidade de fases do sistema: *phases*
- Conexão do sistema: *conn*
- Fator de potência de operação: *PF*
- Potência reativa fornecida/absorvida: *kvar*
- Limite de geração de potência ativa: *pctPmpp*
- Limite de “geração” de potência reativa: *kvarLimit*
- Possibilidade de operação noturna: *VarFollowInverter*

# Inversor

- Fornece potência ativa quando a potência DC é maior que um valor %kVA: *%Cutin*
- Não fornece potência ativa quando a potência DC é menor que um valor de %KVA: *%Cutout*
- Curva de eficiência do inversor: *EffCurve*



Simplificação no modelo: Considera-se sempre a mesma curva. No entanto, ela depende da tensão DC.



# Condições de Operação

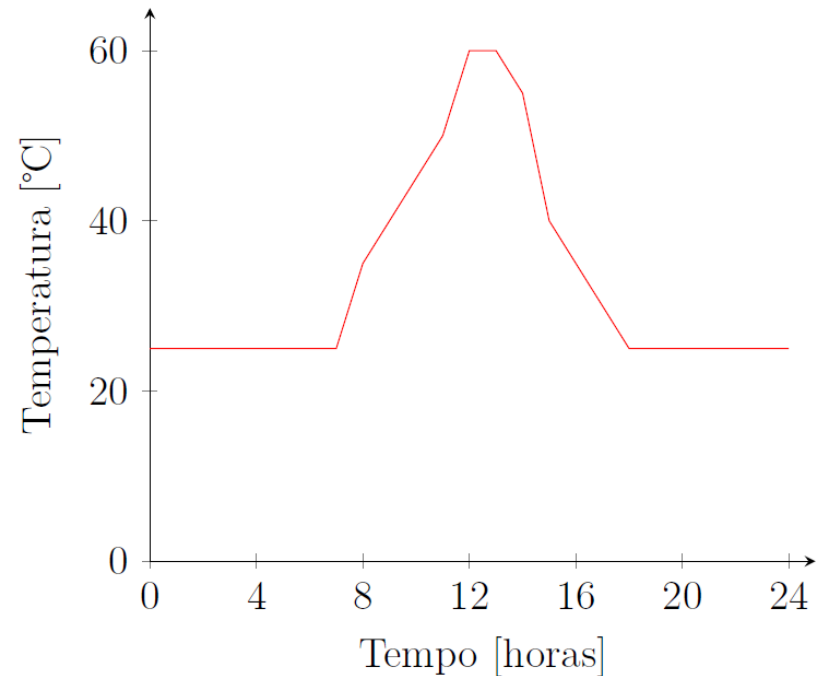
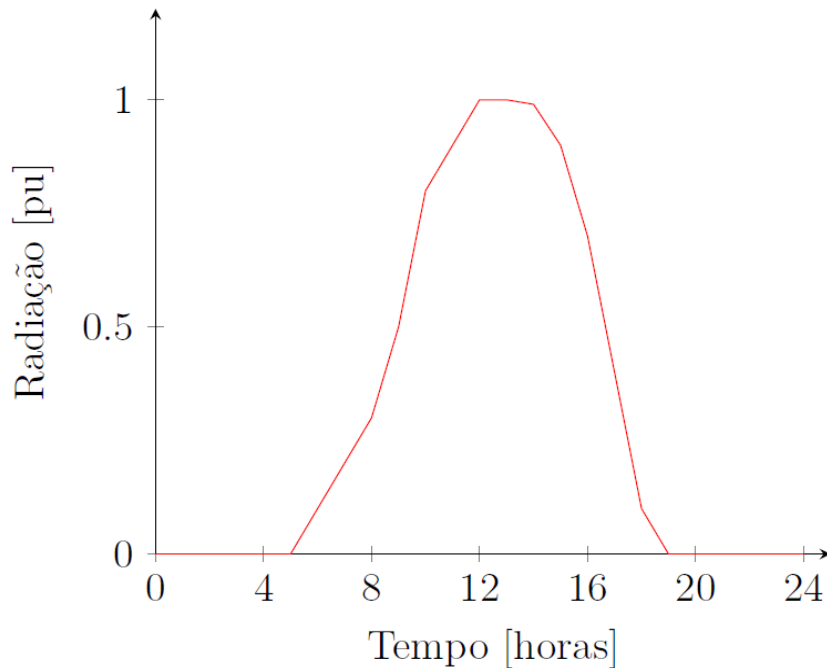
## ■ SnapShot

- Radiação de Operação: *irradiance*
- Temperatura de Operação: *Temperature*

# Condições de Operação

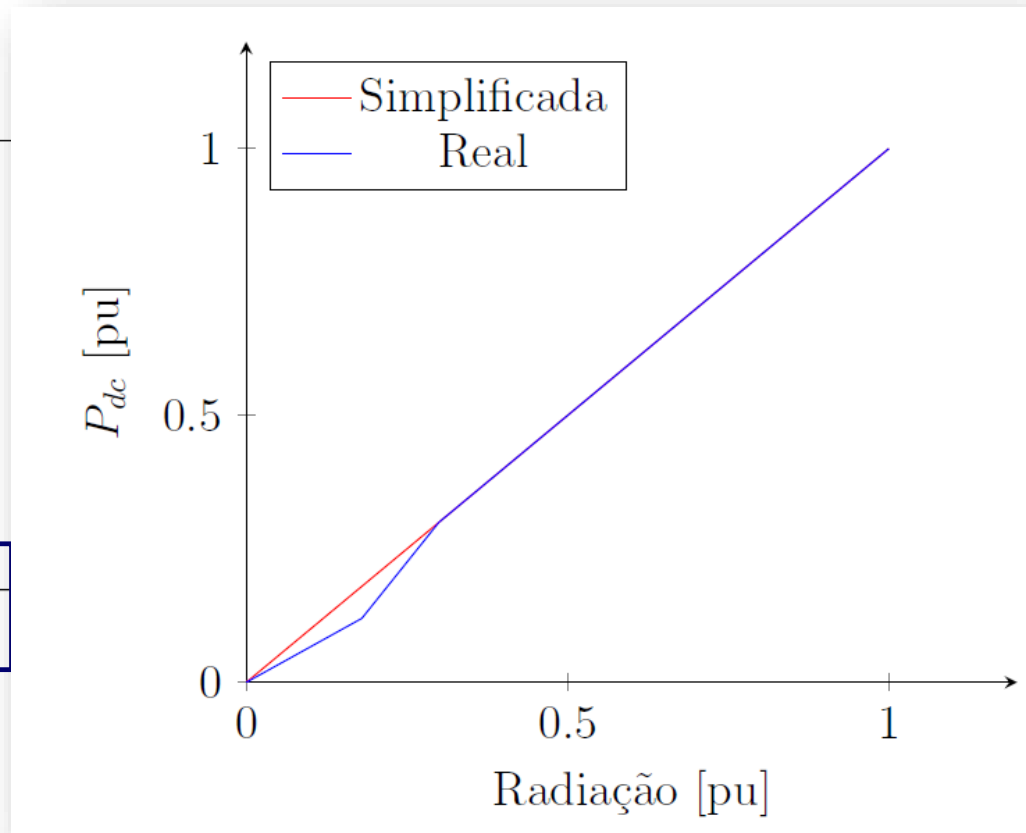
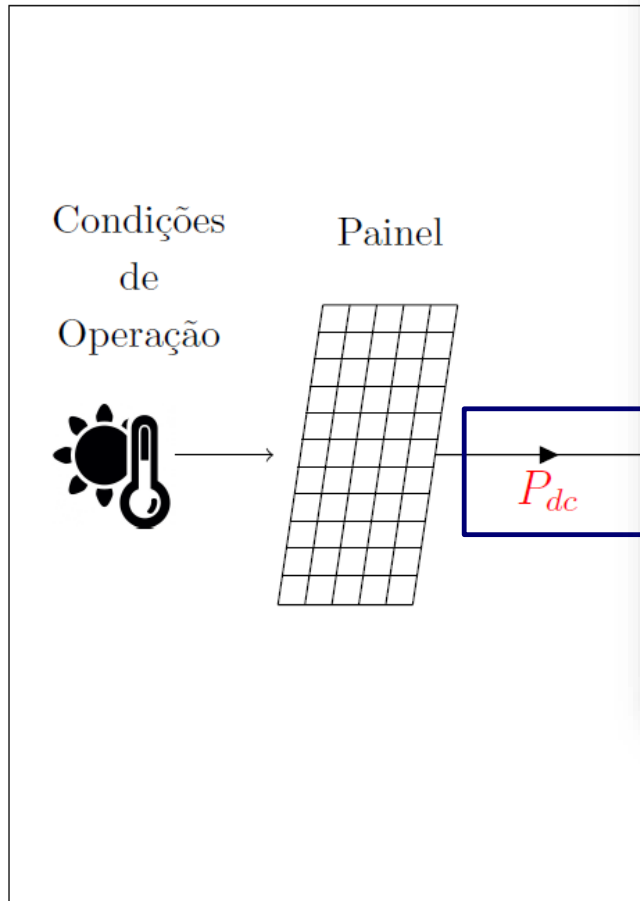
## ■ Time-Series

- Radiação de Base: *irradiance*
- Curva diária de radiação: *daily*, *yearly* ou *duty*
- Curva diária de temperatura: *Tdaily*, *Tyearly* ou *Tduty*



# Interação com a Rede

# Potência DC Gerada pelo Pannel



Simplificação no modelo: Considera-se uma relação linear entre potência DC e radiação

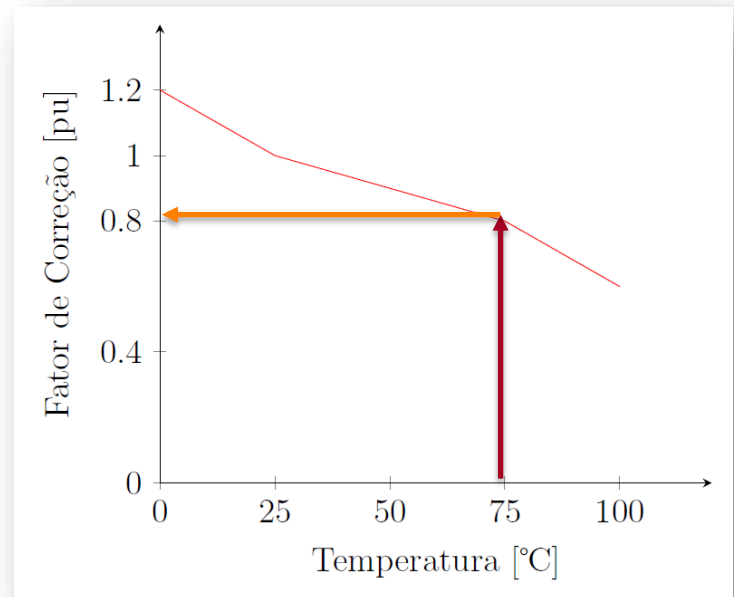
# Potência DC Gerada pelo Painel

- Equação para o modo *SnapShot*

$$P_{dc} = P_{mpp} \times irradiance \times PTCurve(Temperature)$$

Radiação de Operação

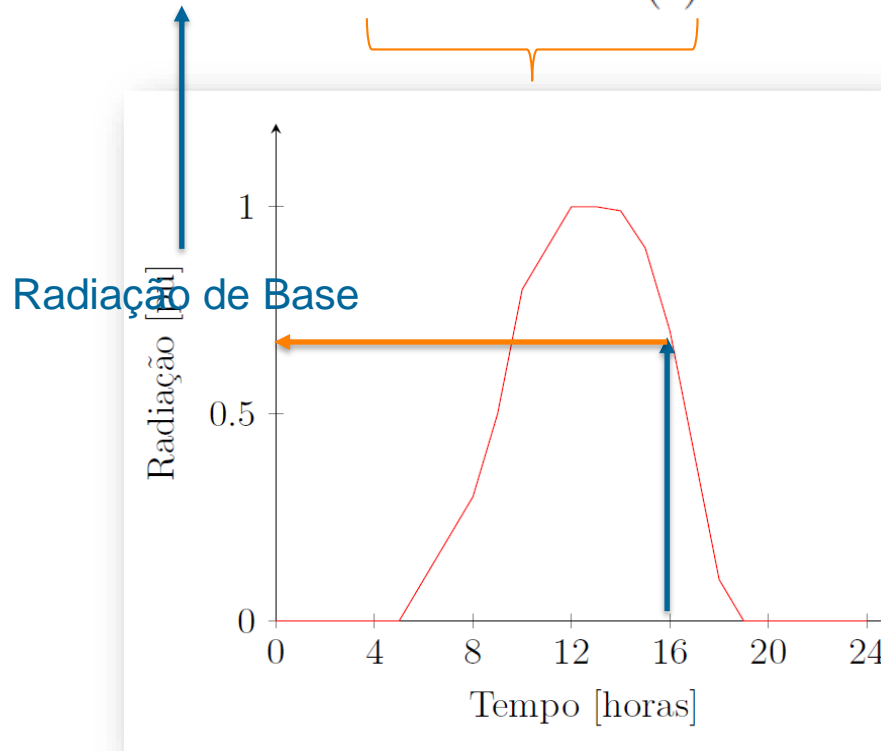
Temperatura de Operação



# Potência DC Gerada pelo Painel

## Equação para o modo Time-Series

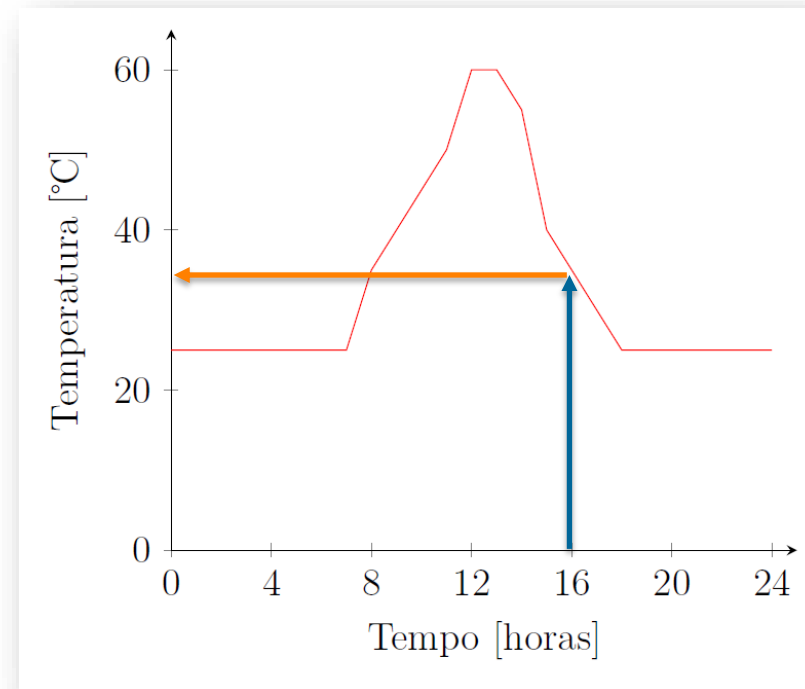
$$P_{dc}(t) = P_{mpp} \times \underbrace{irradiance \times irradiance(t)}_{\text{Radição de Base}} \times PTCurve(Temperature(t))$$



# Potência DC Gerada pelo Painei

- Equação para o modo Time-Series

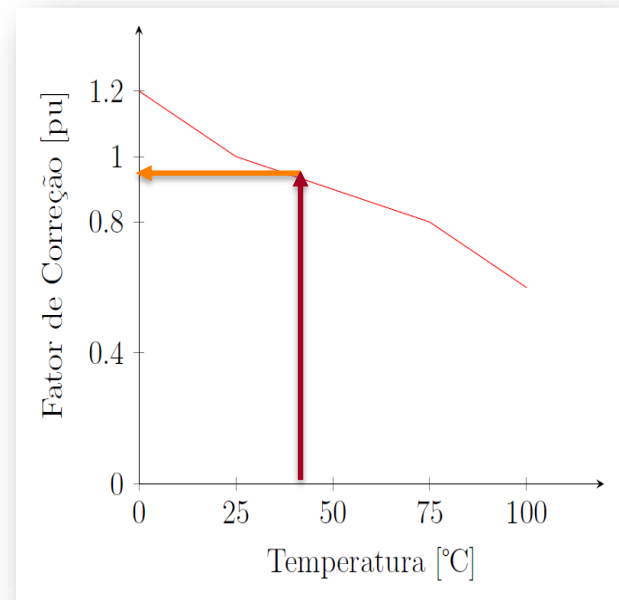
$$P_{dc}(t) = P_{mpp} \times irradiance \times irradiance(t) \times \underbrace{PTCurve(Temperature(t))}$$



# Potência DC Gerada pelo Pannel

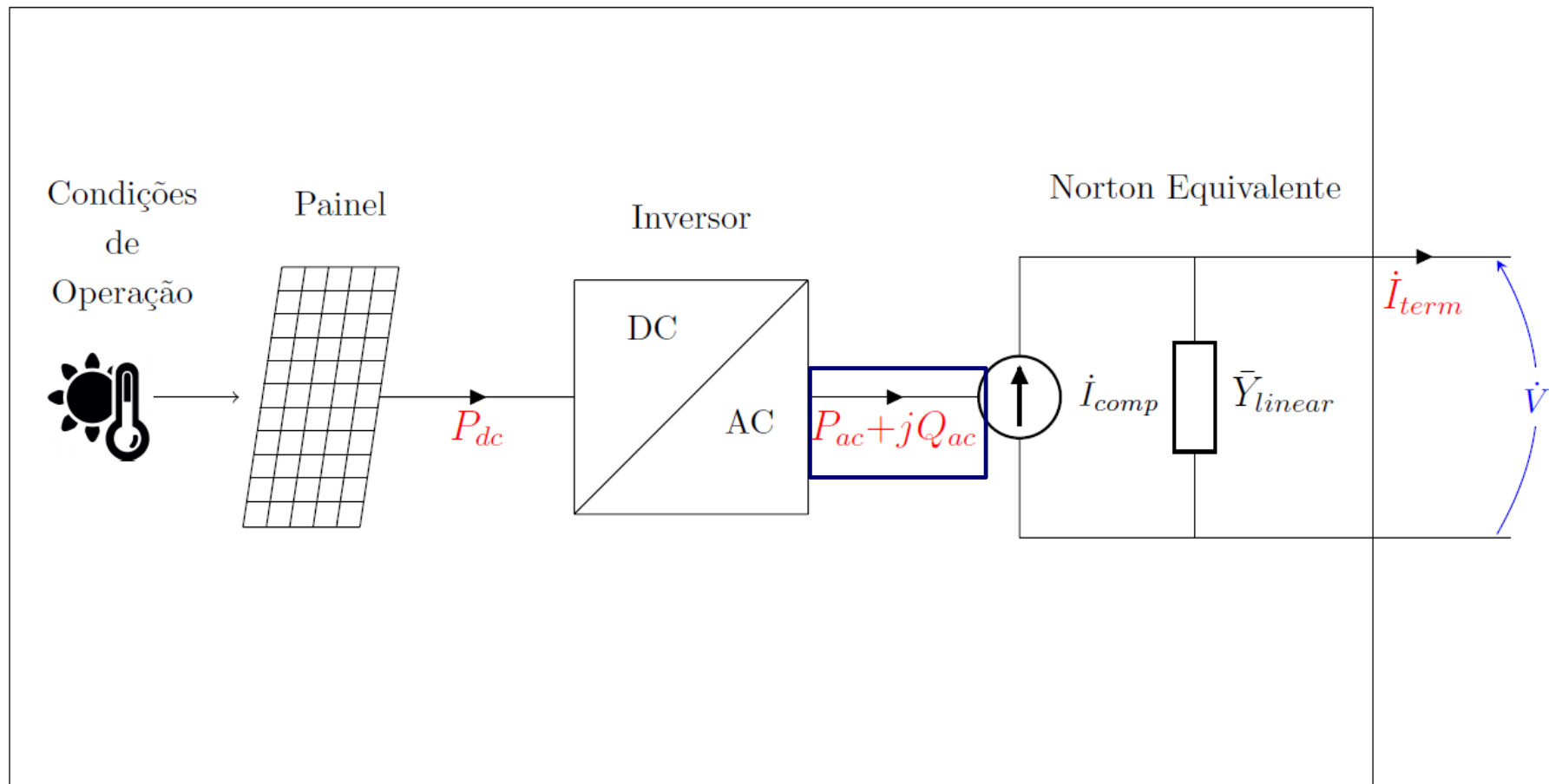
- Equação para o modo Time-Series

$$P_{dc}(t) = P_{mpp} \times irradiance \times irradiance(t) \times \underbrace{PTCurve(Temperature(t))}$$





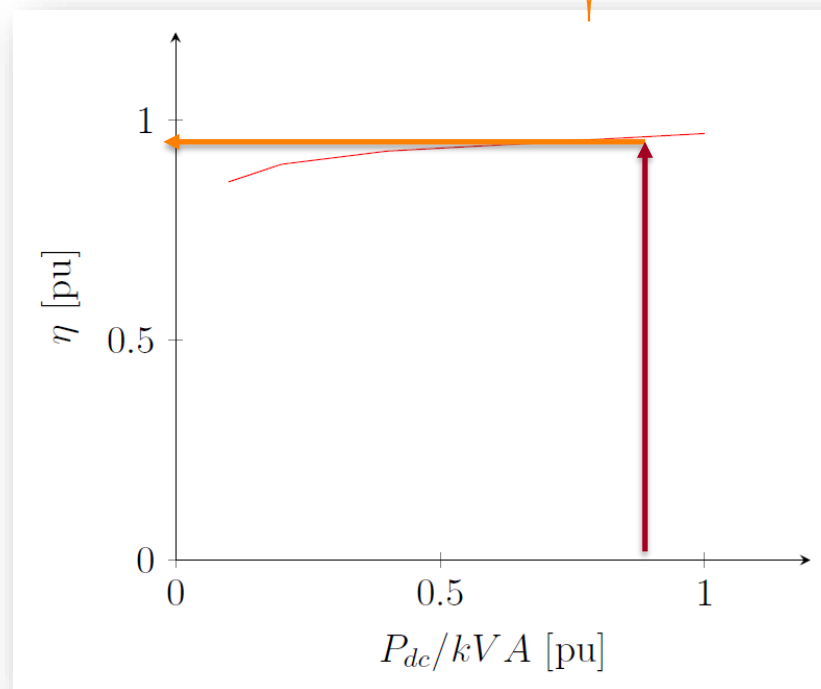
# Potência AC Entregue à Rede



# Potência AC Entregue à Rede

- Equação para ambos os modos de simulação

$$P_{ac}(t) = P_{dc}(t) \cdot \underbrace{EffCurve(P_{dc}(t))}$$



# Potência AC Entregue à Rede

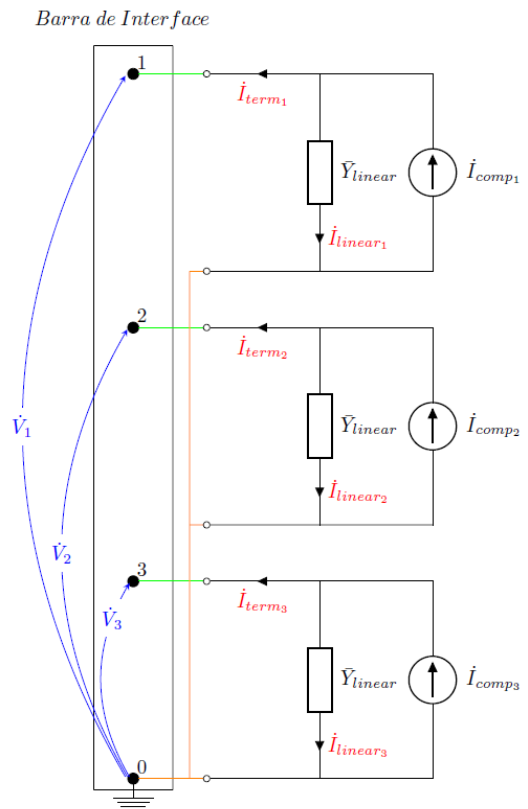
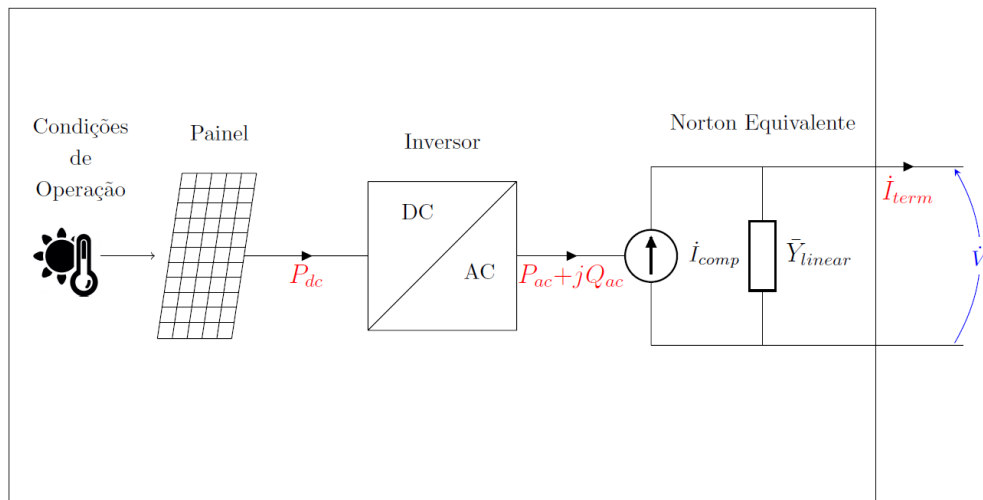
- Equação para ambos os modos de simulação

$$P_{ac}(t) = P_{dc}(t) \cdot EffCurve(P_{dc}(t))$$

$$\bar{S} = P_{ac} + jQ_{ac}$$

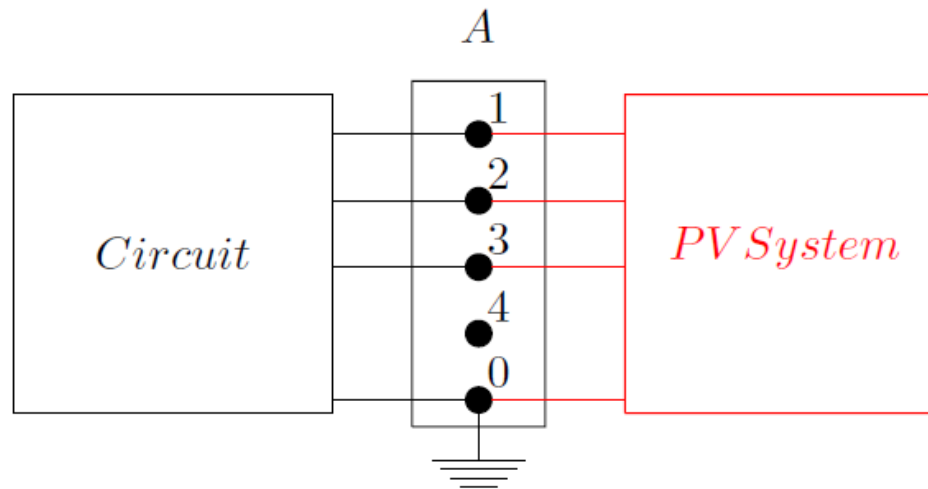
# Norton Equivalente

- Explicado na Nota Técnica *PVSystem*
  - Previsão 31/06/2018



# Exemplos de Códigos

# Definição do Circuito Exemplo



Clear

```
// Elemento Circuit
```

```
New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
```

```
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]
```

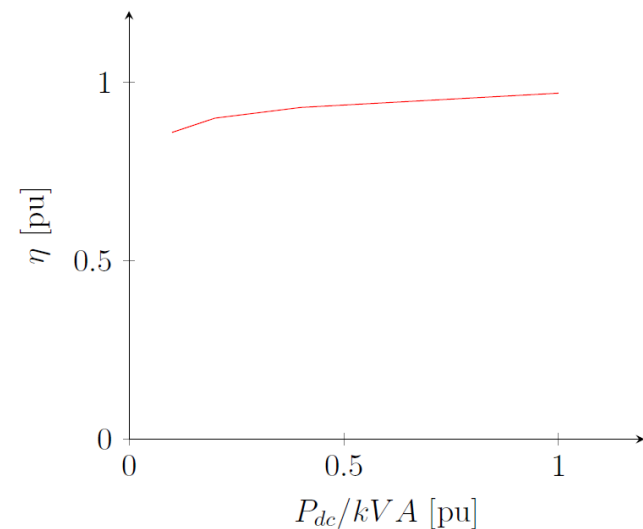
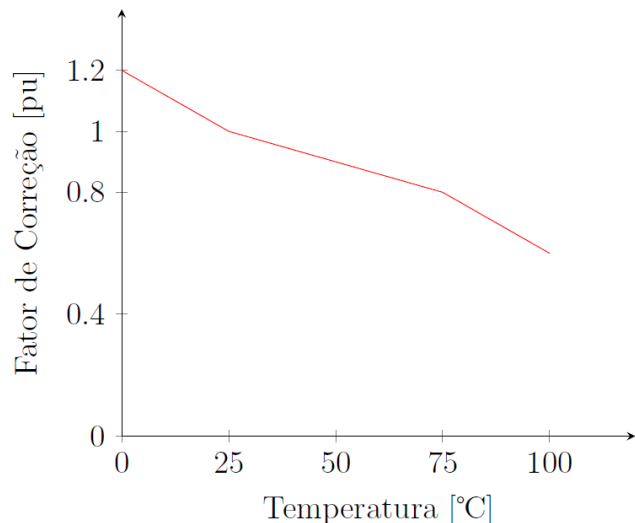
# Definição do Circuito Exemplo

## Curvas utilizadas pelo PVSystem

- Curvas do fator de correção da potência DC e da eficiência do inversor

```
// Curva do fator de correção da potência DC  
// Potência DC nominal para T=25  
New XYCurve.FatorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1.2 1.0 .8 .6]
```

```
// Curva de Eficiência do Inversor  
New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]
```



# Simulação no Modo *SnapShot*

- PVSystem para simulação no modo *SnapShot*

```
// PVSystem no modo SnapShot  
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye  
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT  
~ kvar=-500 kvarLimit=1200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes  
~ Temperature=75 irradiance=0.7
```

Painel

Inversor

Condições de Operação



# Simulação no Modo *SnapShot*

## ■ Cálculo da potência DC

```
// PVSystem no modo SnapShot  
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye  
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT  
~ kvar=-500 kvarLimit=1200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes  
~ Temperature=75 irradiance=0.7
```

$$P_{dc} = P_{mpp} \times irradiance \times PTCurve(Temperature)$$

$$P_{dc} = 1000 \times 0.7 \times PTCurve(75)$$

$$P_{dc} = 1000 \times 0.7 \times 0.8$$

$$P_{dc} = 560 \text{ kW}$$

# Simulação no Modo *SnapShot*

## ■ Cálculo da potência AC

```
// Curva de Eficiência do Inversor  
New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[.86 .9 .93 .97]
```

```
// PVSystem no modo SnapShot  
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye  
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT  
~ kvar=-500 kvarLimit=1200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes  
~ Temperature=75 irradiance=0.7
```

$$P_{ac} = P_{dc} \times EffCurve(P_{dc})$$

$$P_{ac} = 560 \times EffCurve(560)$$

$$P_{ac} = 560 \times 0.934$$

$$P_{ac} = 523.3 \text{ kW}$$

$$\bar{S} = P_{ac} + jQ_{ac}$$

$$\bar{S} = 523.3 - j500 \text{ kVA}$$

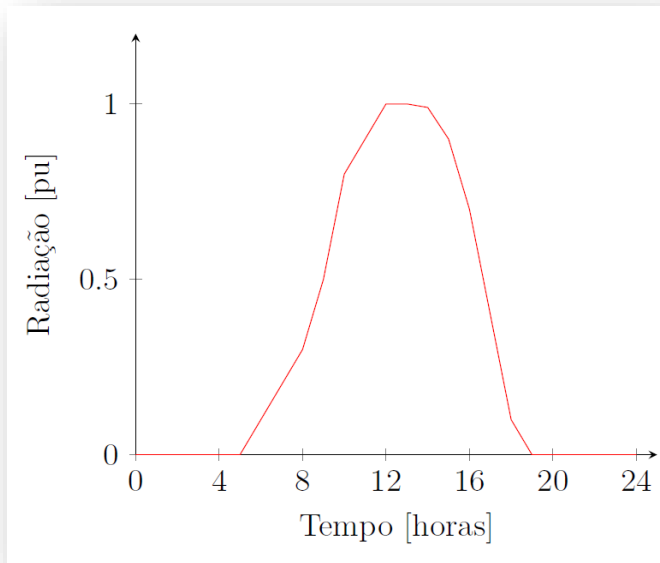
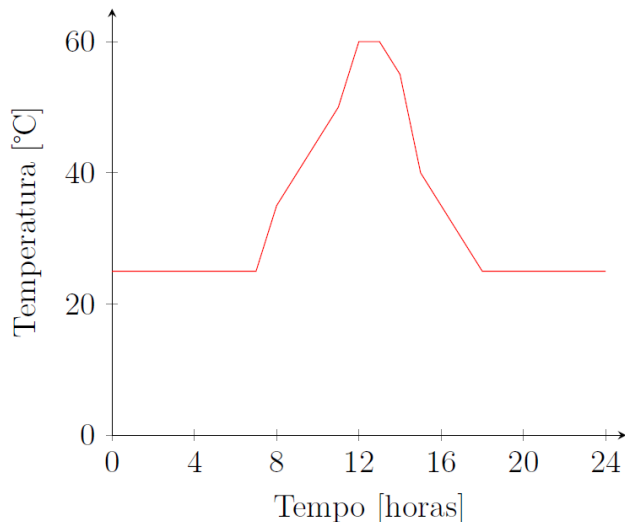
# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Base

### ■ Condições de Operação

```
// Curva de temperatura diária no painel  
New TShape.Temp npts=24 interval=1  
~ temp=[25 25 25 25 25 25 25 25 35 40 45 50 60 60 55 40 35 30 25 25 25 25 25 25]
```

```
// Curva de Radiação Diária  
New LoadShape.Irrad npts=24 interval=1  
~ mult=[0 0 0 0 0 0 .1 .2 .3 .5 .8 .9 1.0 1.0 .99 .9 .7 .4 .1 0 0 0 0 0]
```



# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Base

- PVSystem para simulação no modo *daily*

```
// Curva de temperatura diária no painel  
New TShape.Temp npts=24 interval=1  
~ temp=[25 25 25 25 25 25 25 25 25 35 40 45 50 60 60 55 40 35 30 25 25 25 25 25]
```

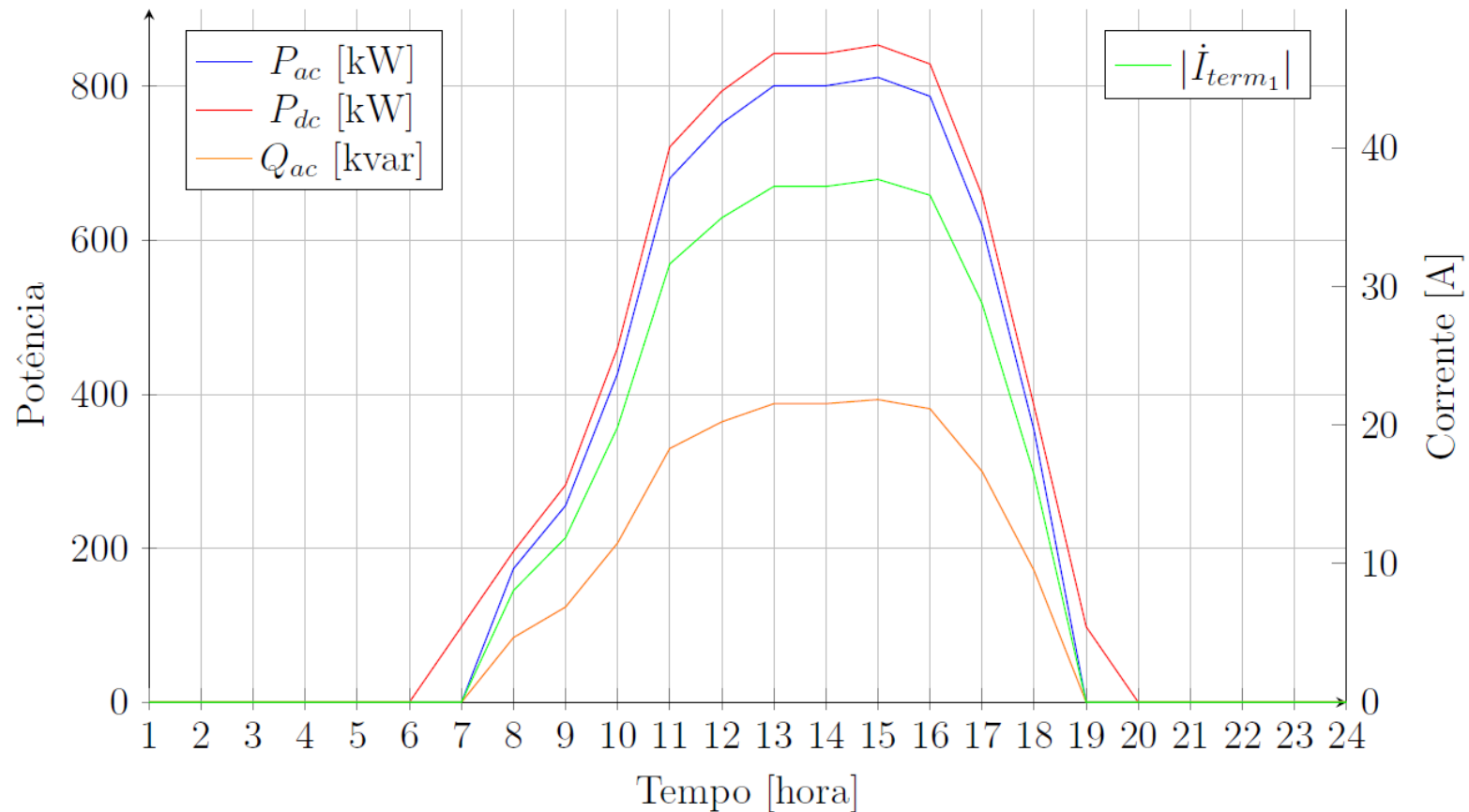
```
// Curva de Radiação Diária  
New LoadShape.Irrad npts=24 interval=1  
~ mult=[0 0 0 0 0 0 .1 .2 .3 .5 .8 .9 1.0 1.0 .99 .9 .7 .4 .1 0 0 0 0 0]
```

```
// PVSystem para o modo Daily  
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye  
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT  
~ pf=0.9 kvarLimit=1200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes  
~ irradiance=0.98 daily=Irrad Tdaily=Temp
```

# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Base

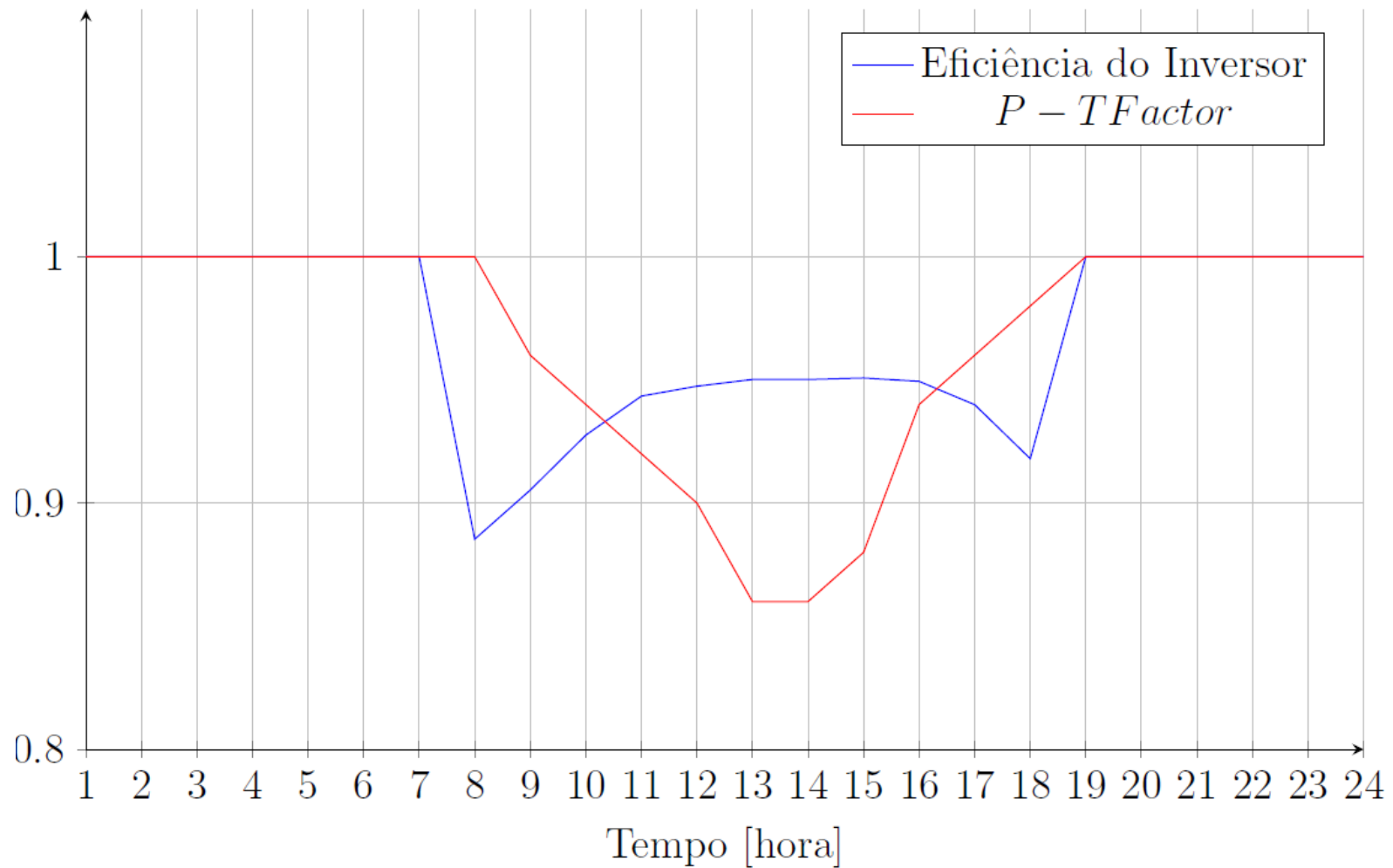
### ■ Resultados:



# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Base

### ■ Resultados internos do modelo:



# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Capacidade do Inversor Atingida

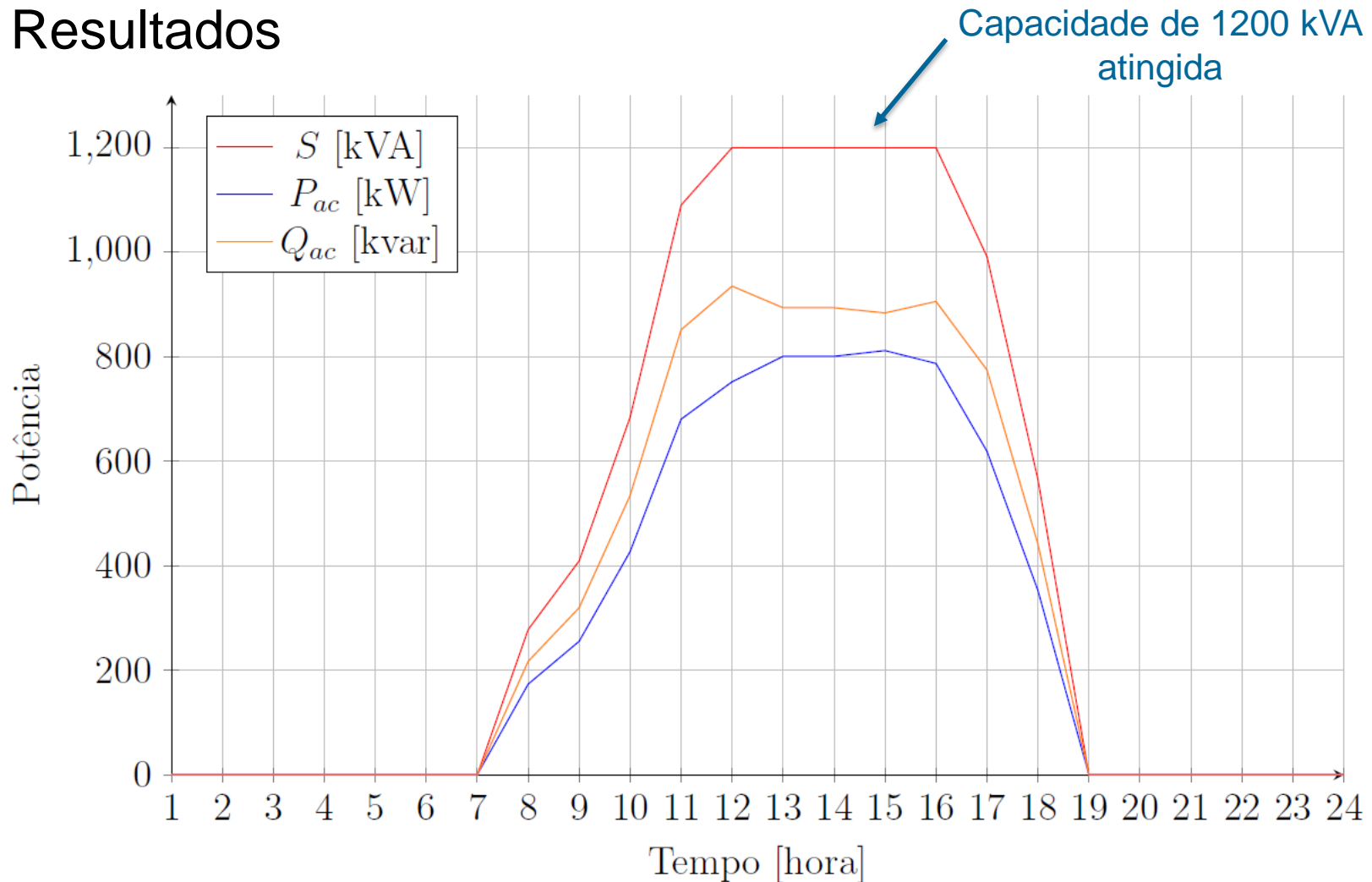
- PVSystem para simulação no modo *daily*

```
// PVSystem para o modo Daily
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT
~ pf=0.6 kvarLimit=1200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes
~ irradiance=0.98 daily=Irrad Tdaily=Temp
```

# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Capacidade do Inversor Atingida

### ■ Resultados





# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Limite de Potência Ativa

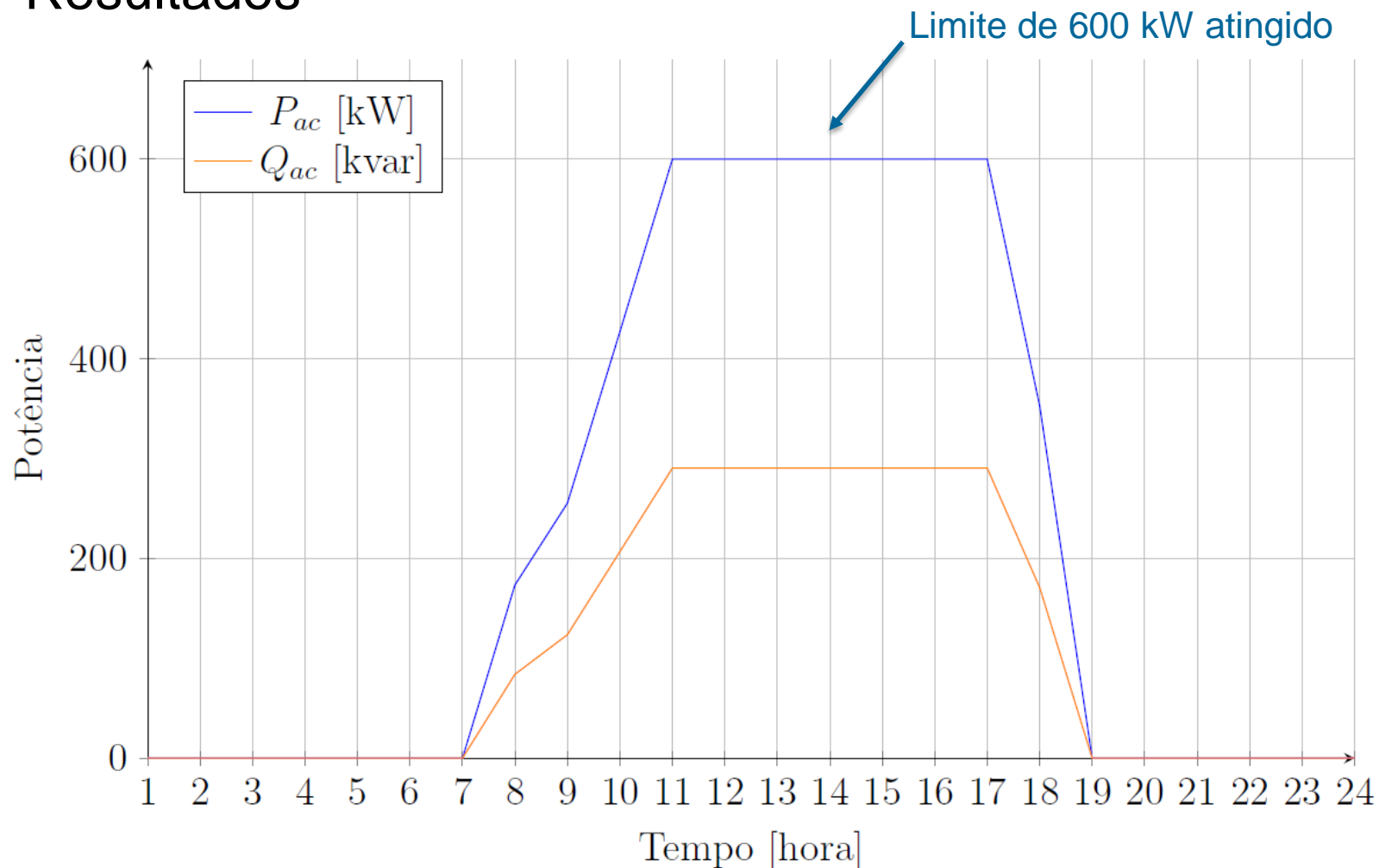
- PVSystem para simulação no modo *daily*

```
// PVSystem para o modo Daily
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT
~ pf=0.9 kvarLimit=1200 pctPmpp=60 VarFollowInverter=yes
~ irradiance=0.98 daily=Irrad Tdaily=Temp
```

# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Limite de Potência Ativa

### ■ Resultados



# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Limite de Potência Reativa

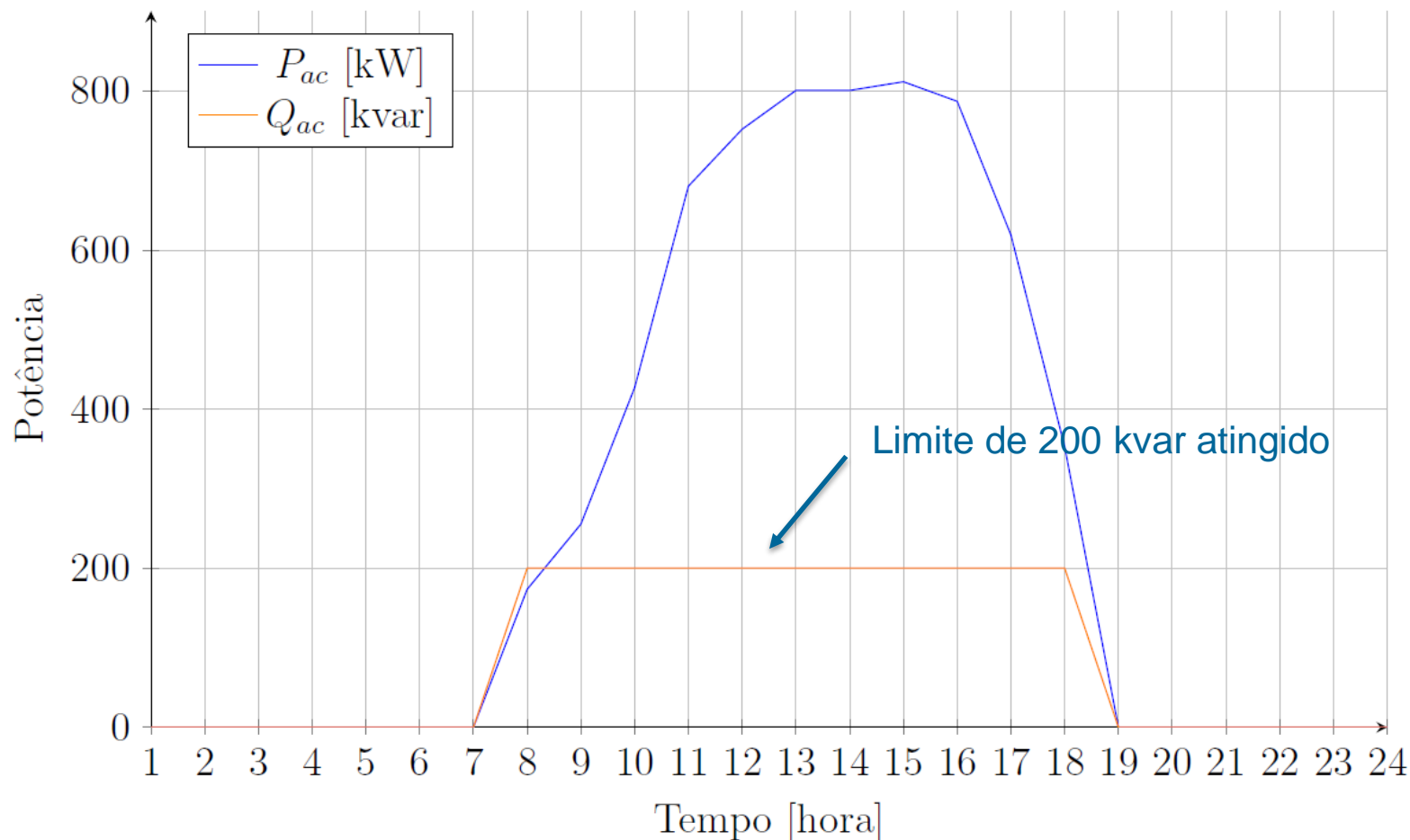
- PVSystem para simulação no modo *daily*

```
// PVSystem para o modo Daily  
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye  
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT  
~ kvar=400 kvarLimit=200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=yes  
~ irradiance=0.98 daily=Irrad Tdaily=Temp
```

# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Limite de Potência Reativa

### ■ Resultados



# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Operação Noturna

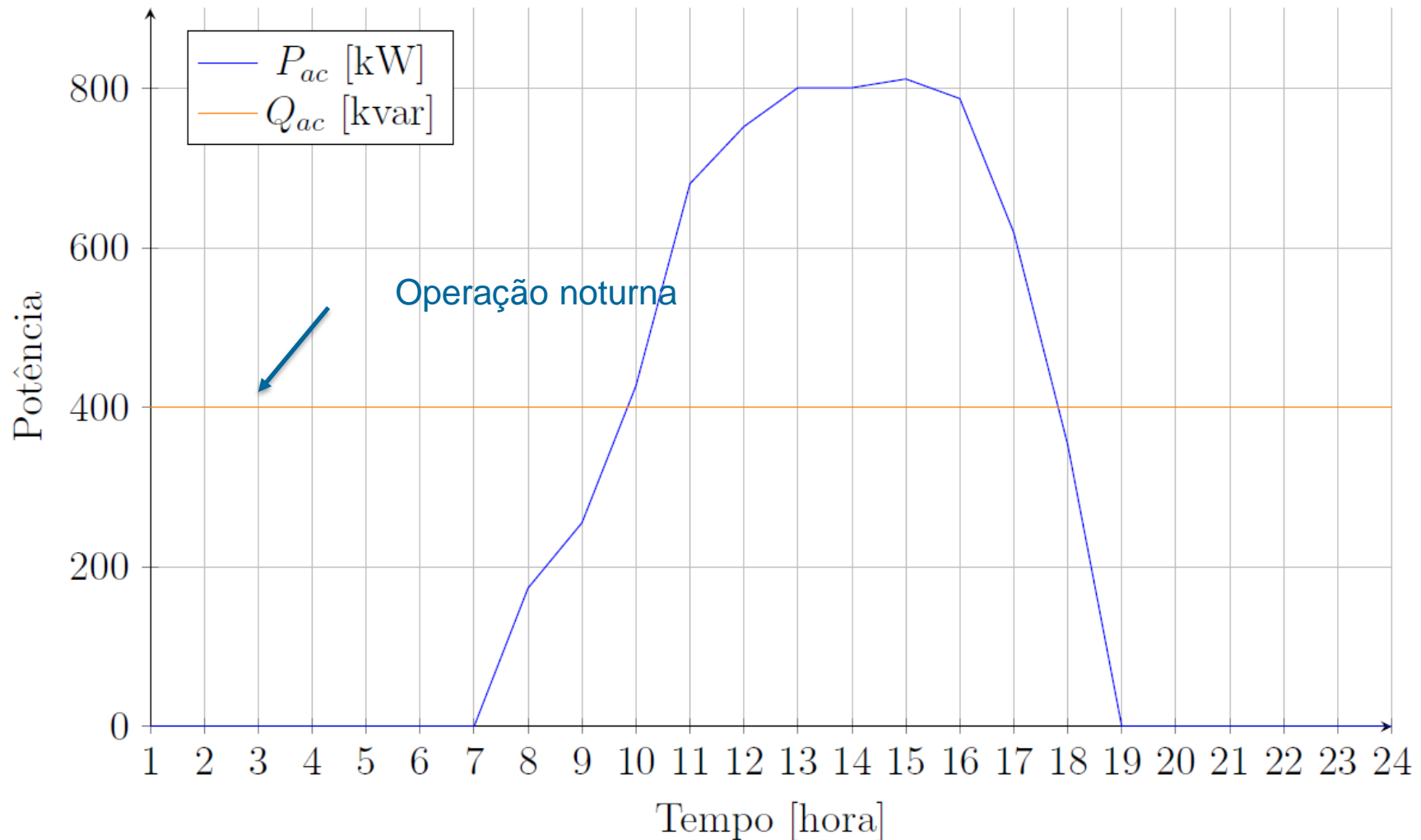
- PVSystem para simulação no modo *daily*

```
// PVSystem para o modo Daily
New PVSystem.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye
~ %Cutin=10 %Cutout=10 EffCurve=Eff P-TCurve=FatorPvsT
~ kvar=400 kvarLimit=1200 pctPmpp=100 VarFollowInverter=no
~ irradiance=0.98 daily=Irrad Tdaily=Temp
```

# Simulação no Modo *Daily*

## Caso Operação Noturna

### ■ Resultados



**Obrigado!**  
**Dúvidas?**