

PVSystem2 e InvControl2

Paulo Radatz
Engineer/Scientist II – EPRI

2º Encontro do Grupo de Usuários do OpenDSS Brasil
20/01/2020

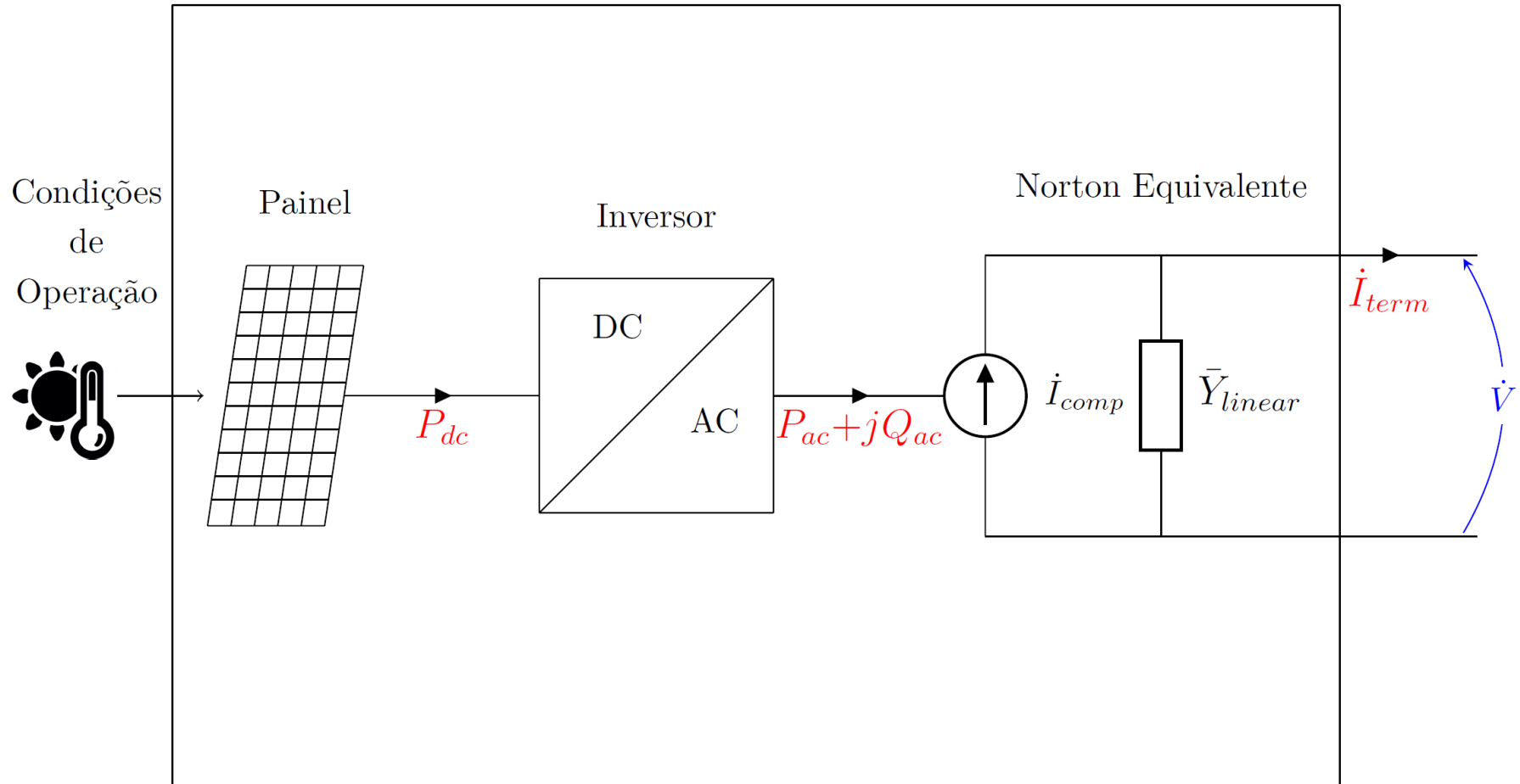


Visão Geral

- PVSystem2
 - Diagrama Esquemático
 - Dados de Entrada
 - Operação do Inversor
- InvControl2
 - Elemento de controle
 - Dados de Entrada
 - Funções Inteligentes
- Exemplos PVSystem2
- Exemplos PVSystem2 e InvControl2

PVSystem2

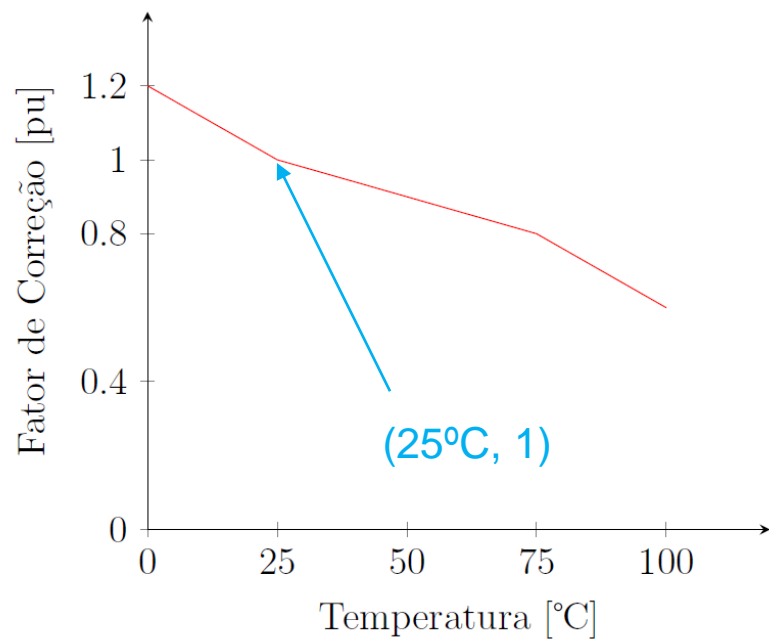
Diagrama Esquemático



Dados de Entrada

Painel

- Potência nominal do Painel: P_{mpp}
 - Potência definida para radiação de 1kW/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

Dados de Entrada

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: *%Pmpp*
- Limite de “geração” de potência reativa: *kvarMax*
- Limite de “consumo” de potência reativa: *kvarMaxAbs*
- Possibilidade de operação noturna: *VarFollowInverter*
- Priorizar a potência ativa ou reativa: *WattPriority*
- Fixa o valor do fator de potência ao seu valor nominal: *PFPriority*

Quando kVA é excedido



Dados de Entrada

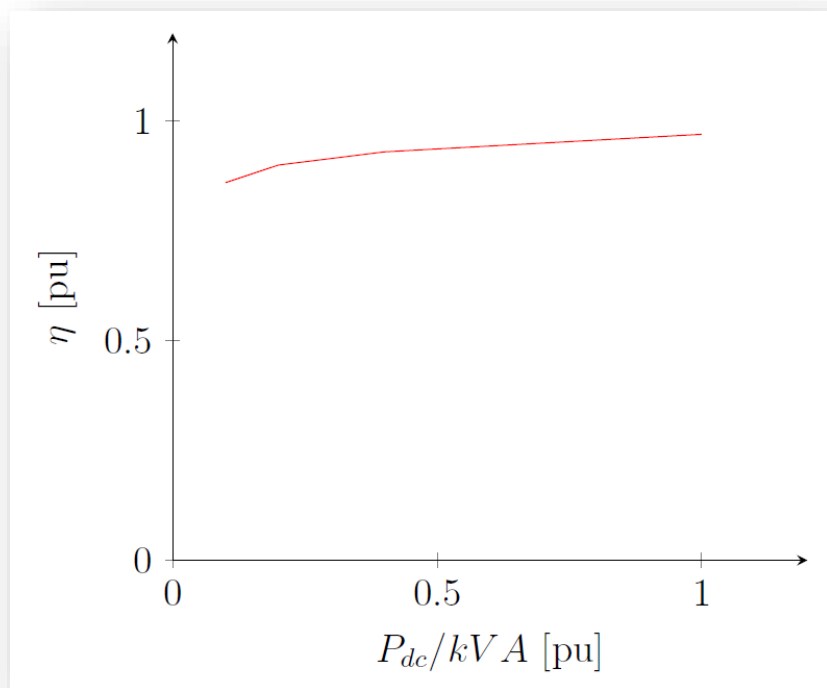
Inversor

- O inversor é proibido de fornecer ou absorver potência reativa quando a sua potência ativa gerada for menor que esse valor:
%PminNoVars
- O inversor pode fornecer ou absorver potência reativa em sua capacidade máxima *kvarMax* ou *kvarMaxAbs*, respectivamente, quando a sua potência ativa gerada for maior que esse valor:
%PminkvarMax

Dados de Entrada

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.

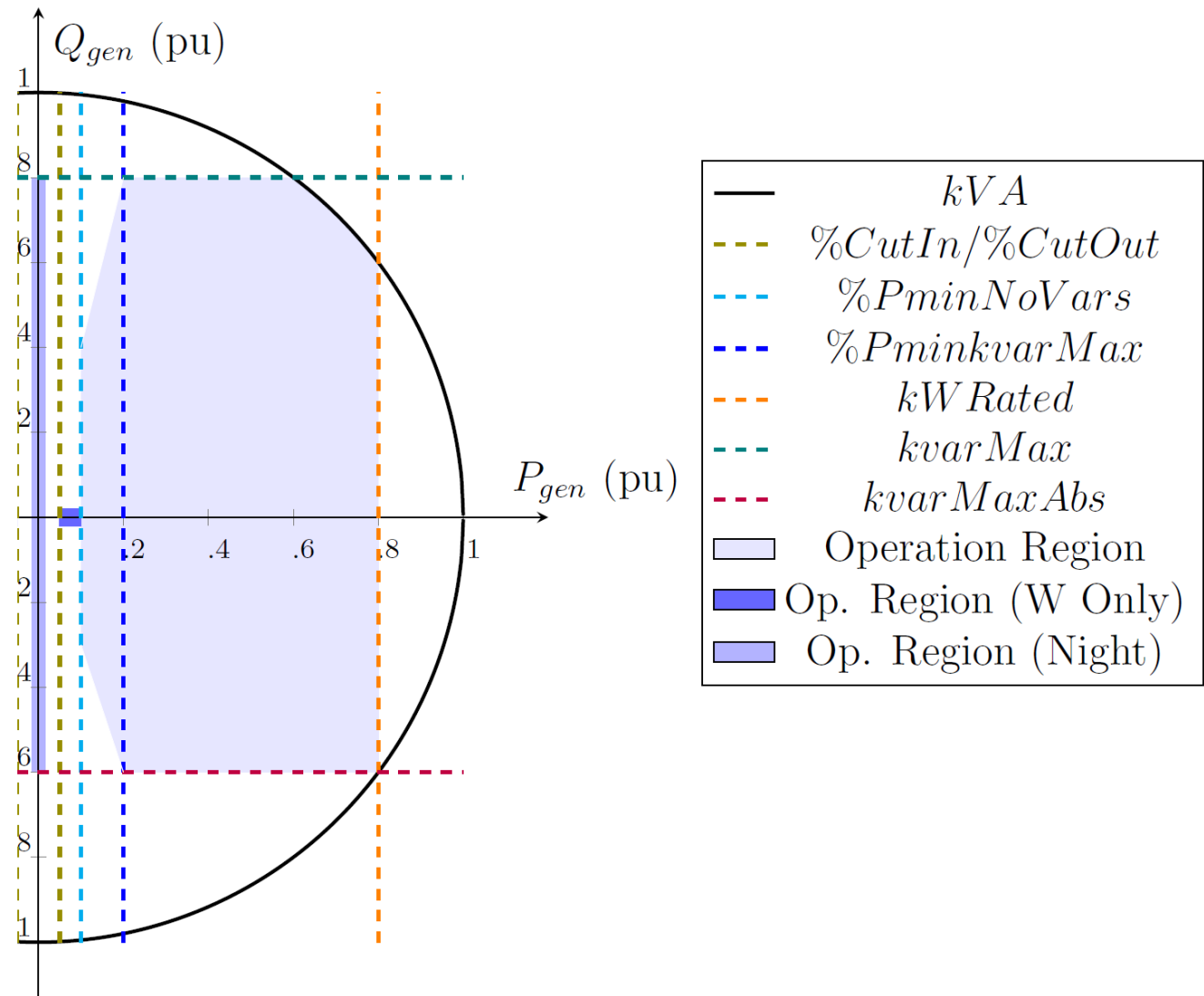
Dados de Entrada

Condições de Operação

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

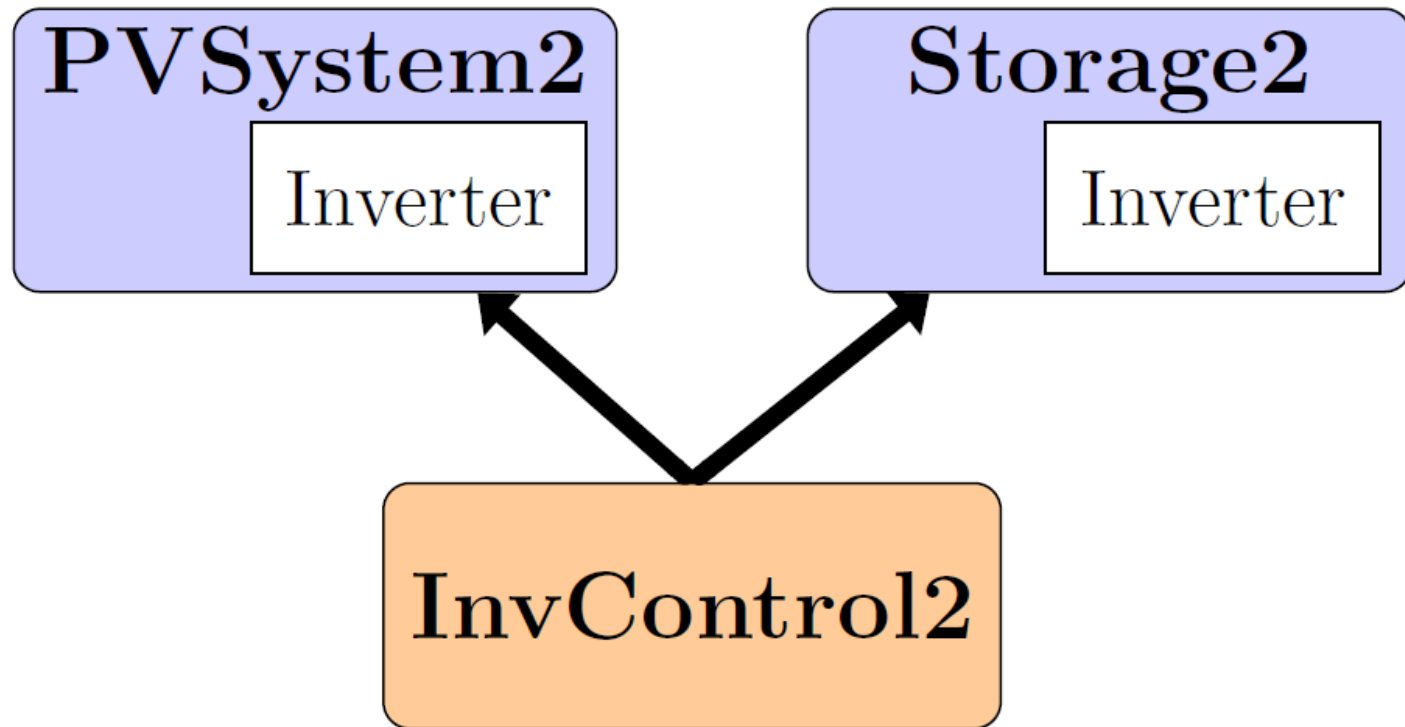
- Time-Series
 - Radiação de Base: *irradiance*
 - Curva diária de radiação: *daily*, *yearly* ou *duty*
 - Curva diária de temperatura: *Tdaily*, *Tyearly* ou *Tduty*

Operação do Inversor



InvControl2

Elemento de controle



Dados de Entrada Comuns

- Lista dos elementos *PVSystem2* e ou *Storage2* que são controlado: *DERList*
- Função inteligente: *mode*
- Função inteligente combinada: *Combimode*
- Tensão de base que é considerada para calcular a tensão monitorada em pu: *voltage_curvex_ref*
- Comprimento da janela móvel em escala de tempo: *avgwindowlen*
- Tolerância em pu da convergência do laço de controle associado a tensão monitorada: *VoltageChangeTolerance*
- Lista de barras com os seus nós que devem ser monitoradas: *monBus*
- Lista de tensões nominais das barras e seus nós presentes na lista da propriedade *monBus*: *monBusesVbase*
- Opções de calculo da tensão monitorada em V: *monVoltageCalc*

Dados de Entrada

Controlam a Potência Reativa

- Define as potências de base para as potência reativa fornecida e absorvida: *RefReactivePower*
- Tolerância em pu da convergência do laço de controle associado a potência reativa: *VarChangeTolerance*
- *deltaQ_factor*

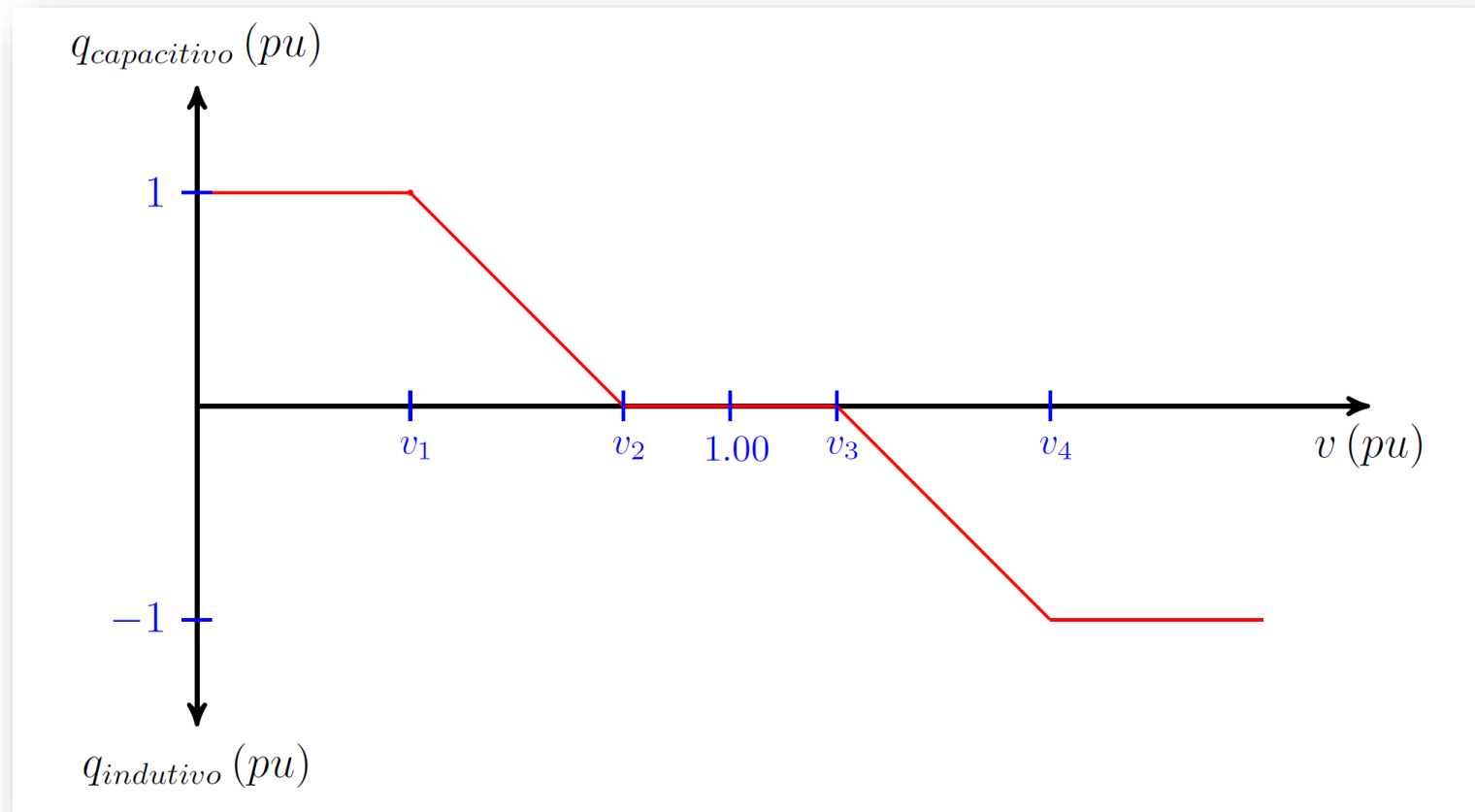
Dados de Entrada

Limitam a Potência Ativa

- Tolerância em pu da convergência do processo de controle associado a potência ativa: *ActivePChangeTolerance*
- *deltaP_factor*

Funções Inteligentes Volt-Var

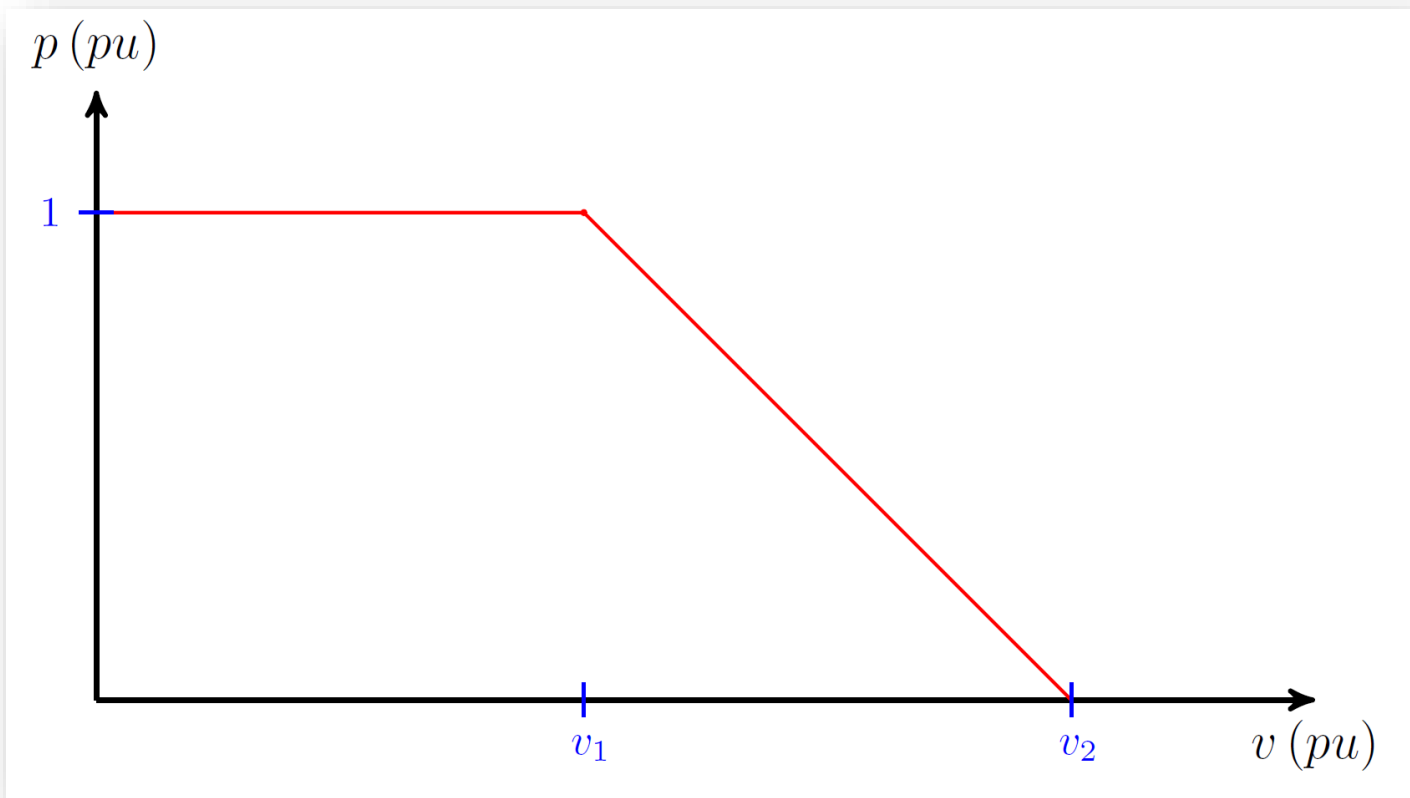
- *vvc_curve1*



Funções Inteligentes

Volt-Watt

- *voltwatt_curve*
- *VoltwattYAxis*



Funções Inteligentes

Outras

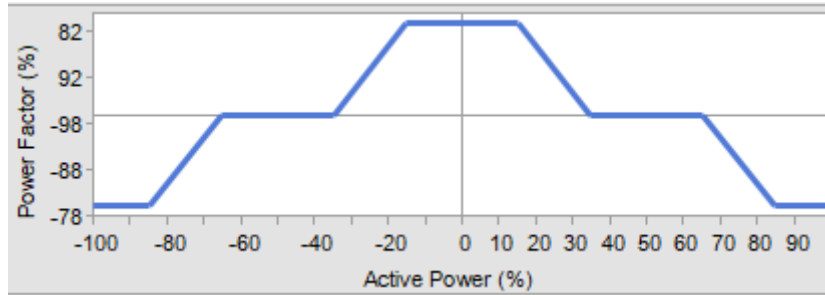
- DRC
- VV-VW
- VV-DRC
- VW-PF

Equação do DRC

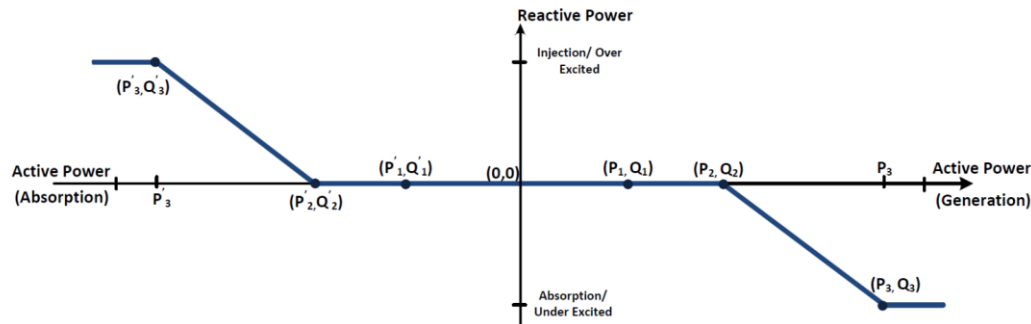
$$q_{Dfun}[t]_j = \begin{cases} -\Delta v_{mon_{drc}}[t]_j \times ArGraLowV & \text{se } v_{mon_{drc}}[t]_j < DbvMin \\ -\Delta v_{mon_{drc}}[t]_j \times ArGraHiV & \text{se } v_{mon_{drc}}[t]_j > DbvMax \\ 0, & \text{senão} \end{cases}$$

Funções Inteligentes Em Desenvolvimento

■ Watt-PF



■ Watt-Var



Exemplo PVSystem2

Operação Normal

```

Clear

New Circuit.TheveninEquivalent bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[1 1 1 1]

New XYCurve.FatorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1 1 1 1]

New PVSystem2.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wey EffCurve=Eff
~ P-TCurve=FatorPvsT %Pmpp=100 Temperature=25 irradiance=1

Set voltagebases=[13.8]
Calc voltagebases

set casename=SnapShot_Standard-PV2

Solve

Show Power kVA elements
    
```

Novo nome

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

$$P'_{ac}[t] = \begin{cases} 0, & \text{if the inverter status is OFF} \\ P_{LimitMin}[t], & \text{if } P_{dc}[t] \times EffCurve \geq P_{LimitMin}[t] \\ P_{dc}[t] \times EffCurve, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P_{ac}[t] = P'_{ac}[t]$$

Power Conversion Elements

Bus	Phase	kW	+j kvar	kVA	PF	
ELEMENT = "PVSystem2.PV"						
A	1	-333.3	+j 0.0	333.3	-1.0000	
A	2	-333.3	+j 0.0	333.3	1.0000	
A	3	-333.3	+j 0.0	333.3	1.0000	
A	0	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000	
TERMINAL TOTAL		-1000.0	+j	0.0	1000.0	-1.0000

DC-to-AC Ratio

```

Clear

New Circuit.TheveninEquivalent bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[1 1 1 1]

New XYCurve.FactorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1 1 1 1]

New PVSystem2.PV phases=3 bus1=A Pmpp=2000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye EffCurve=Eff
~ P-TCurve=FactorPvsT Temperature=25 irradiance=0.8

Set voltagebases=[13.8]
Calc voltagebases

set casename=DC-to-AC

Solve

Show Power kVA elements
    
```

$$\text{DC-to-AC} = \text{Pmpp} \times 0.01/\text{kVA} = 2000/1200 = 1.66$$

Power Conversion Elements

	Bus Phase	kW	+j kvar	kVA	PF
ELEMENT = "PVSystem2.PV"					
A	1	-400.0	+j 0.0	400.0	1.0000
A	2	-400.0	+j 0.0	400.0	1.0000
A	3	-400.0	+j 0.0	400.0	1.0000
A	0	0.0	+j 0.0	0.0	1.0000
TERMINAL TOTAL		-1200.0	+j 0.0	1200.0	1.0000

Limite

Operação Limitada pela capacidade do Inversor

Clear

```
New Circuit.TheveninEquivalent bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.000000001, 0.000000001] Z1=[0.000000001, 0.000000001]

New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[1 1 1 1]

New XYCurve.FatorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1 1 1 1]

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]

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]

New PVSystem2.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1010 conn=wye effcurve=Eff pf=0.9
~ P-TCurve=FatorPvsT %Pmpp=100 irradiance=1 daily=Irrad Tdaily=Temp pfpriority=no
~ wattpriority=no

New Monitor.PV_currents element=PVSystem2.PV terminal=1 mode=0
New Monitor.PV_powers element=PVSystem2.PV terminal=1 mode=1 ppolar=no
New Monitor.PV_s element=PVSystem2.PV terminal=1 mode=1

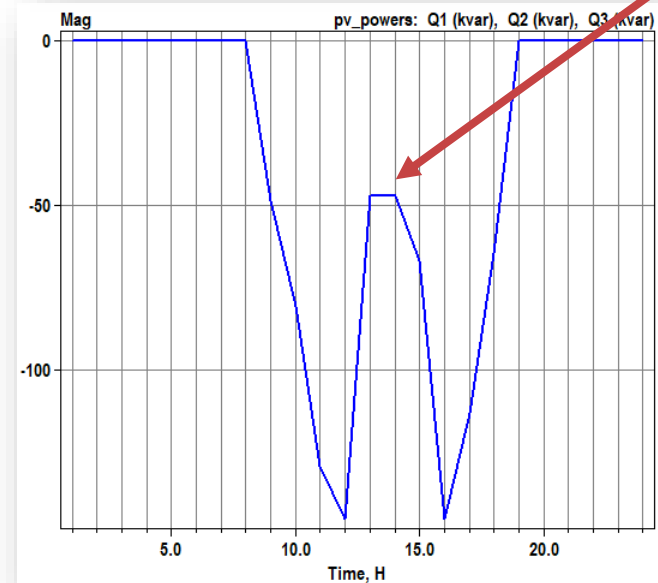
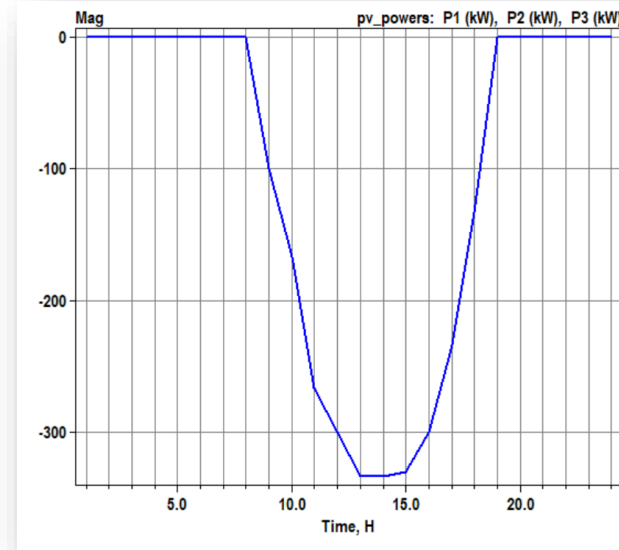
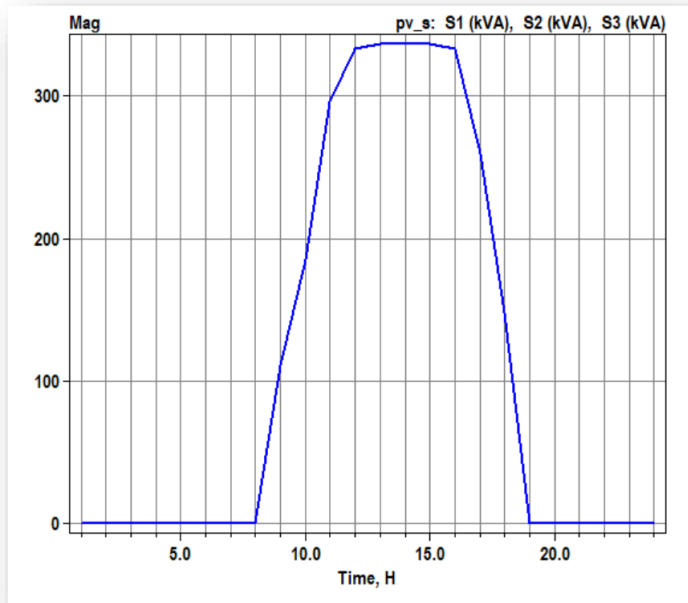
Set voltagebases=[13.8]
Calc voltagebases

set casename=Daily_varP_kvarlimitation-PV2

Set mode=daily
Set stepsize=1h
Set number=24
Solve
```

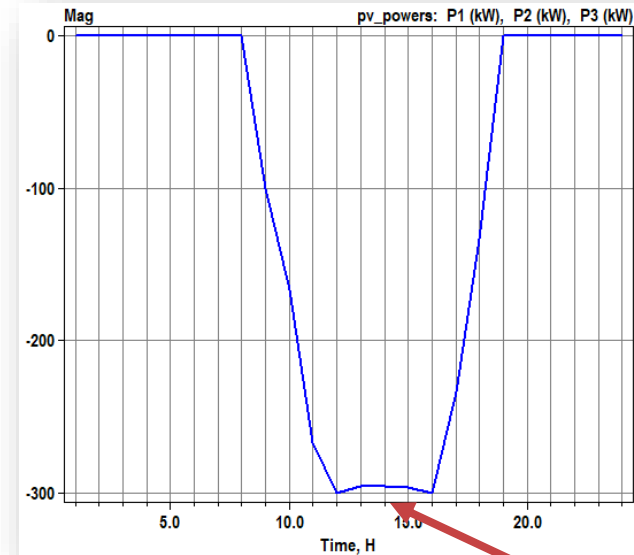
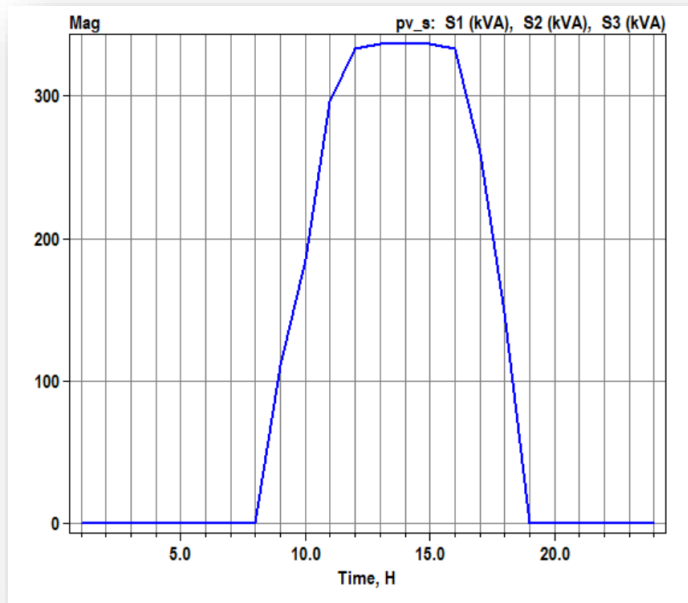
Nova
propriedade

Operação Limitada pela capacidade do Inversor – Prioridade P

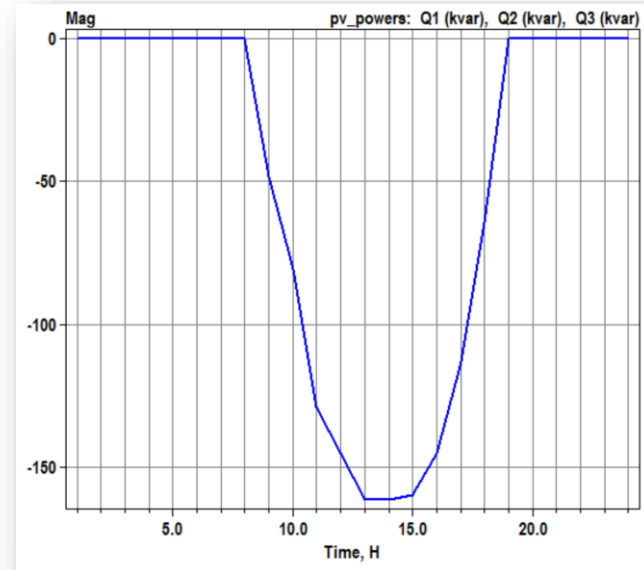


Reduzido

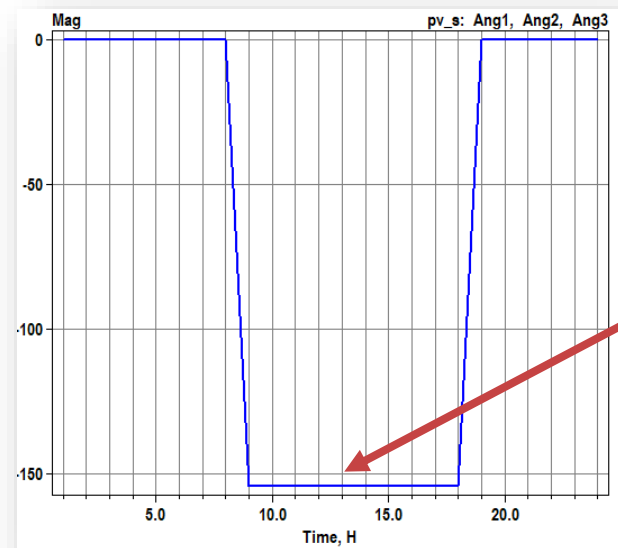
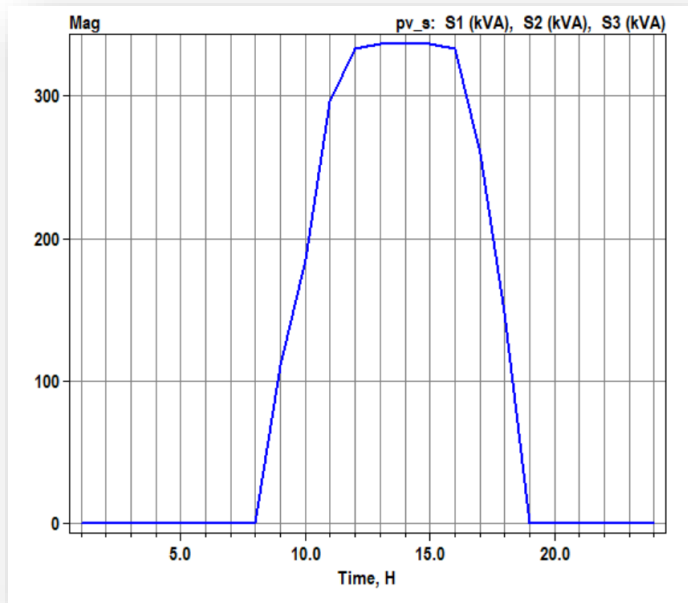
Operação Limitada pela capacidade do Inversor – Prioridade Q



Reduzido



Operação Limitada pela capacidade do Inversor – Prioridade FP



Constante

Novas capacidades de Potência Reativa

Clear

```
New Circuit.TheveninEquivalente bus1=A pu=1.0 basekv=13.8
~ Z0=[0.00000001, 0.00000001] Z1=[0.00000001, 0.00000001]

New XYCurve.Eff npts=4 xarray=[.1 .2 .4 1.0] yarray=[1 1 1 1]

New XYCurve.FatorPvsT npts=4 xarray=[0 25 75 100] yarray=[1 1 1 1]

New PVSysSystem2.PV phases=3 bus1=A Pmpp=1000 kV=13.8 kVA=1200 conn=wye EffCurve=Eff
~ P-TCurve=FatorPvsT %Pmpp=100 Temperature=25 kvarMax=200 kvarMaxAbs=300 kvar=500 %cutout=0.1

Set voltagebases=[13.8]
Calc voltagebases

set casename=PV_currentkvarLimit_kvar

Set maxcontroli=2000
```

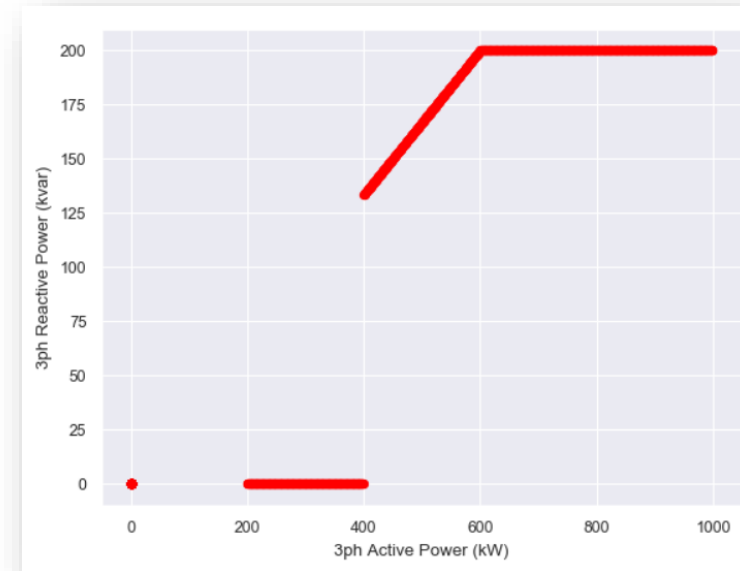
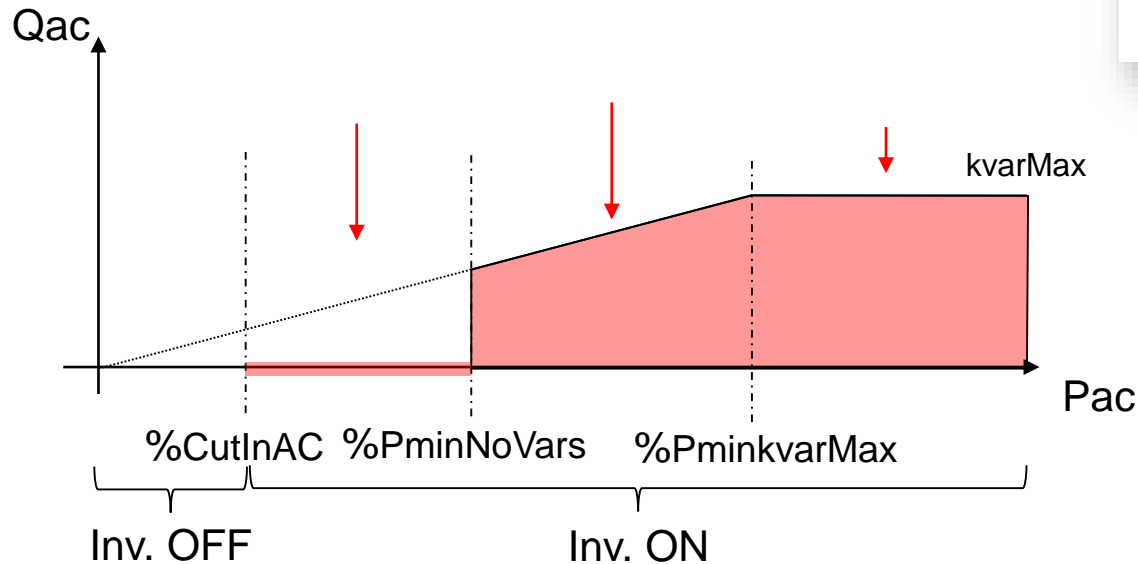
Novas capacidades de Potência Reativa

$$\%CutInAC < \%PminNoVars$$

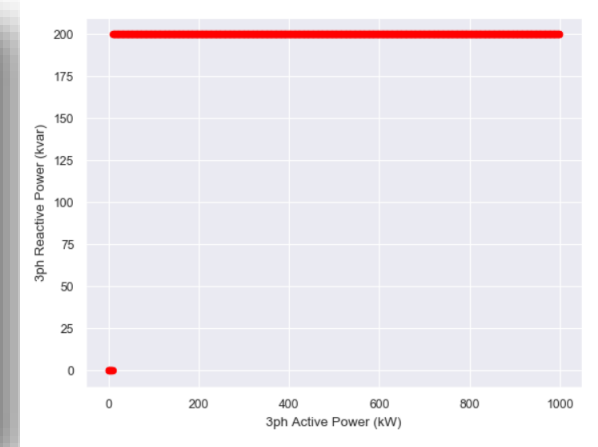
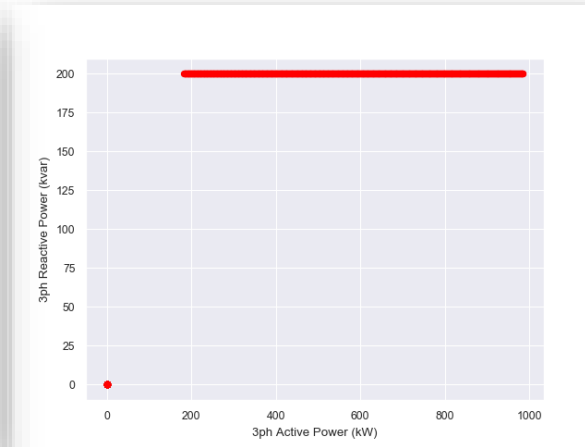
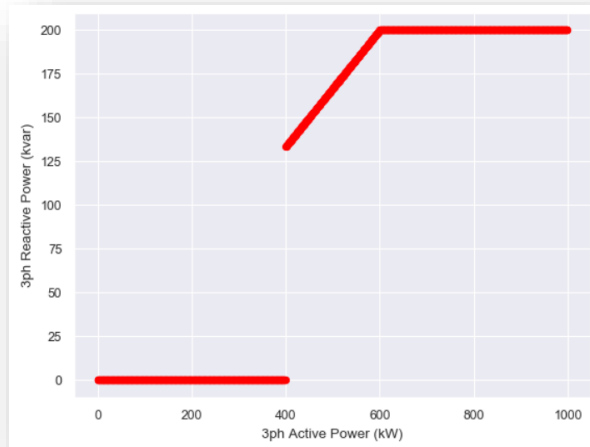
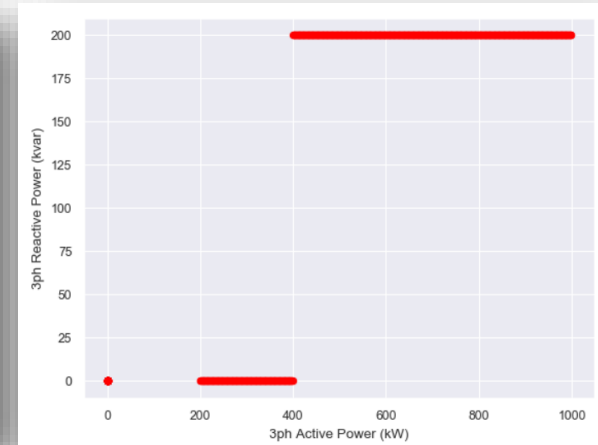
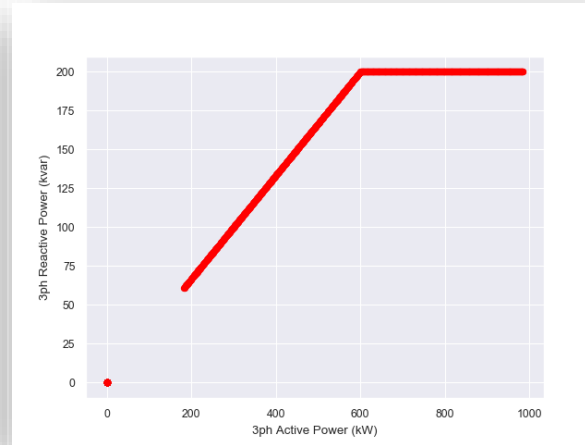
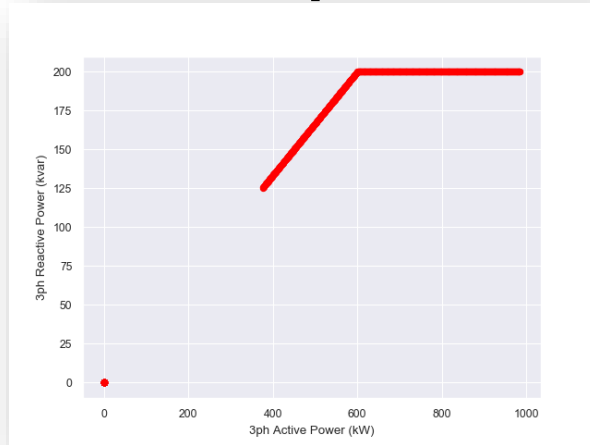
$$\%PminkvarMax = 60\% (600kW)$$

$$\%PminNoVars = 40\% (400kW)$$

$$\%CutInAC = \%CutIn/eff(Pdc) = 16.666\% \text{ of kVA } (200kW)/eff(Pdc)$$



Novas capacidades de Potência Reativa



Exemplo PVSystem2 e InvControl2

Volt-Var - Resultados

Resultados do monitor no modo 3

Voltage used in the volt-var curve

hour	t(sec)	Irradiance	PanelkW	P_TFactor	Efficiency	Vreg	Vavg (DRC)	volt-var	volt-watt	DRC	VV_DRC	kW_out_desired
1	0	0	0	1	1	0.999973	9999	0	9999	9999	9999	0
2	0	0	0	1	1	0.999983	9999	0	9999	9999	9999	0
3	0	0	0	1	1	0.999989	9999	0	9999	9999	9999	0
4	0	0	0	1	1	0.999993	9999	0	9999	9999	9999	0
5	0	0	0	1	1	0.999994	9999	0	9999	9999	9999	0
6	0	0	0	1	1	0.999995	9999	0	9999	9999	9999	0
7	0	0.1	100	1	1	0.999996	9999	0	9999	9999	9999	100
8	0	0.2	200	1	1	0.999997	9999	0	9999	9999	9999	200
9	0	0.3	300	1	1	1.00863	9999	-1	9999	9999	9999	300
10	0	0.5	500	1	1	1.01419	9999	-1	9999	9999	9999	500
11	0	0.8	800	1	1	1.02225	9999	-1	9999	9999	9999	800
12	0	0.9	900	1	1	1.02487	9999	-1	9999	9999	9999	900
13	0	1	1000	1	1	1.02746	9999	-1	9999	9999	9999	1000
14	0	1	1000	1	1	1.02746	9999	-1	9999	9999	9999	1000
15	0	0.99	990	1	1	1.02719	9999	-1				
16	0	0.9	900	1	1	1.02487	9999	-1				
17	0	0.7	700	1	1	1.0196	9999	-1				
18	0	0.4	400	1	1	1.01143	9999	-1				
19	0	0.1	100	1	1	0.999982	9999	0				
20	0	0	0	1	1	0.999988	9999	0				
21	0	0	0	1	1	0.999992	9999	0				
22	0	0	0	1	1	0.999994	9999	0				
23	0	0	0	1	1	0.999995	9999	0				
24	0	0	0	1	1	0.999996	9999	0				

Negative value: var absorption

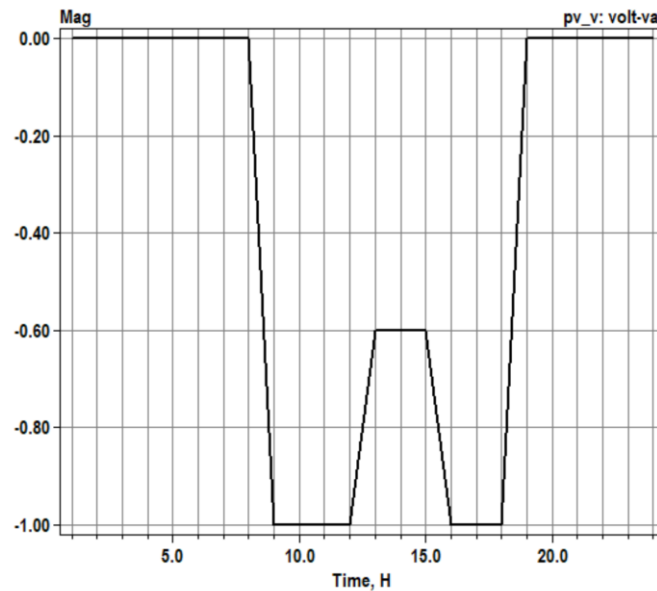
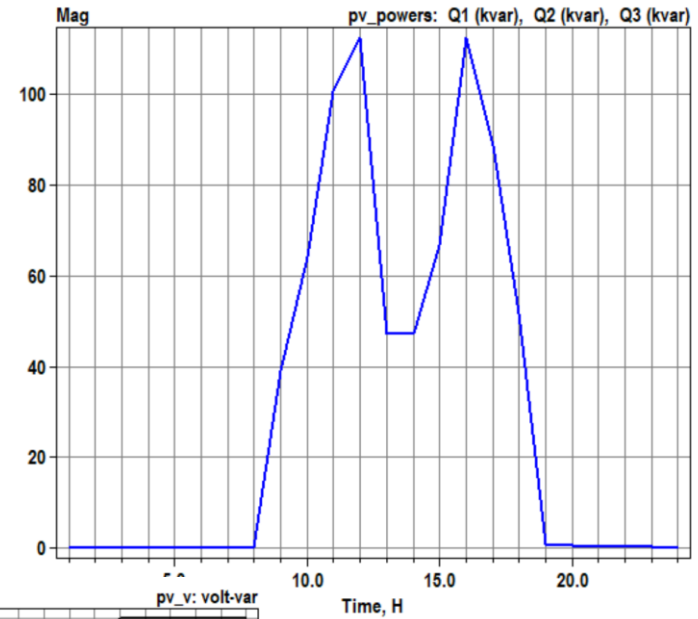
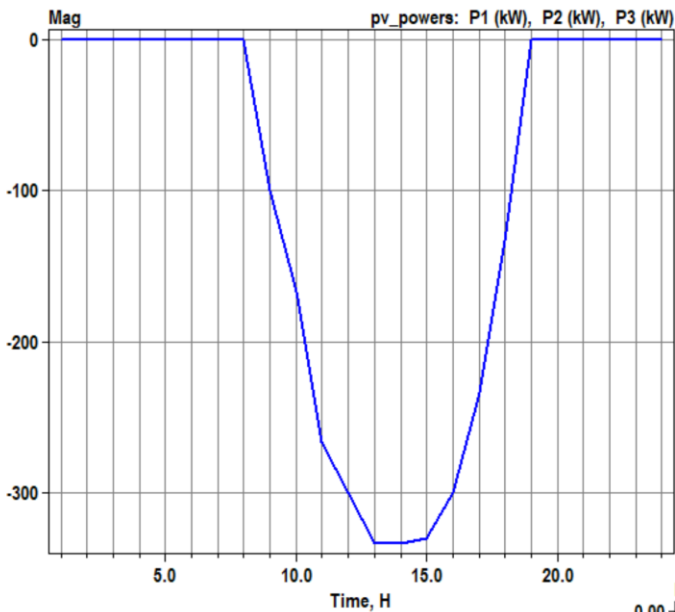
Positive value : var generation

1.0: volt-var operating as it supposed to

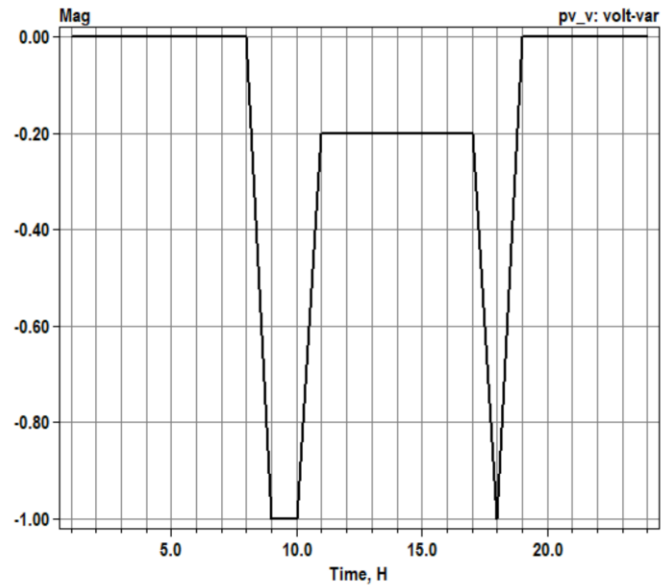
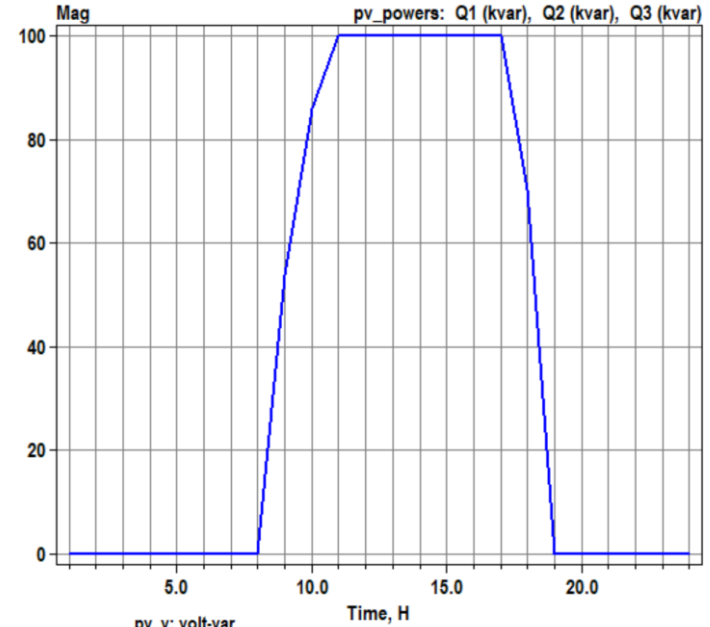
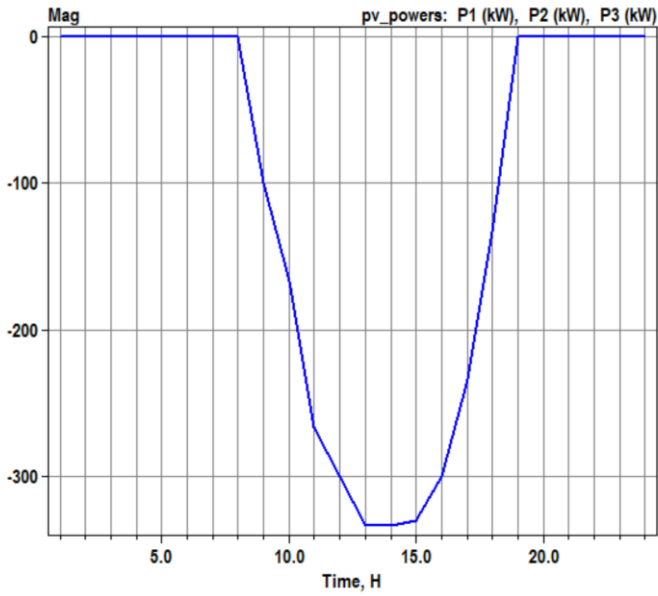
0.6: volt-var limited by inverter's kVA rating

0.2: volt-var limited by varmax/varmaxabs property of the PC element

Volt-Var – Capacidade do Inversor superada com prioridade P

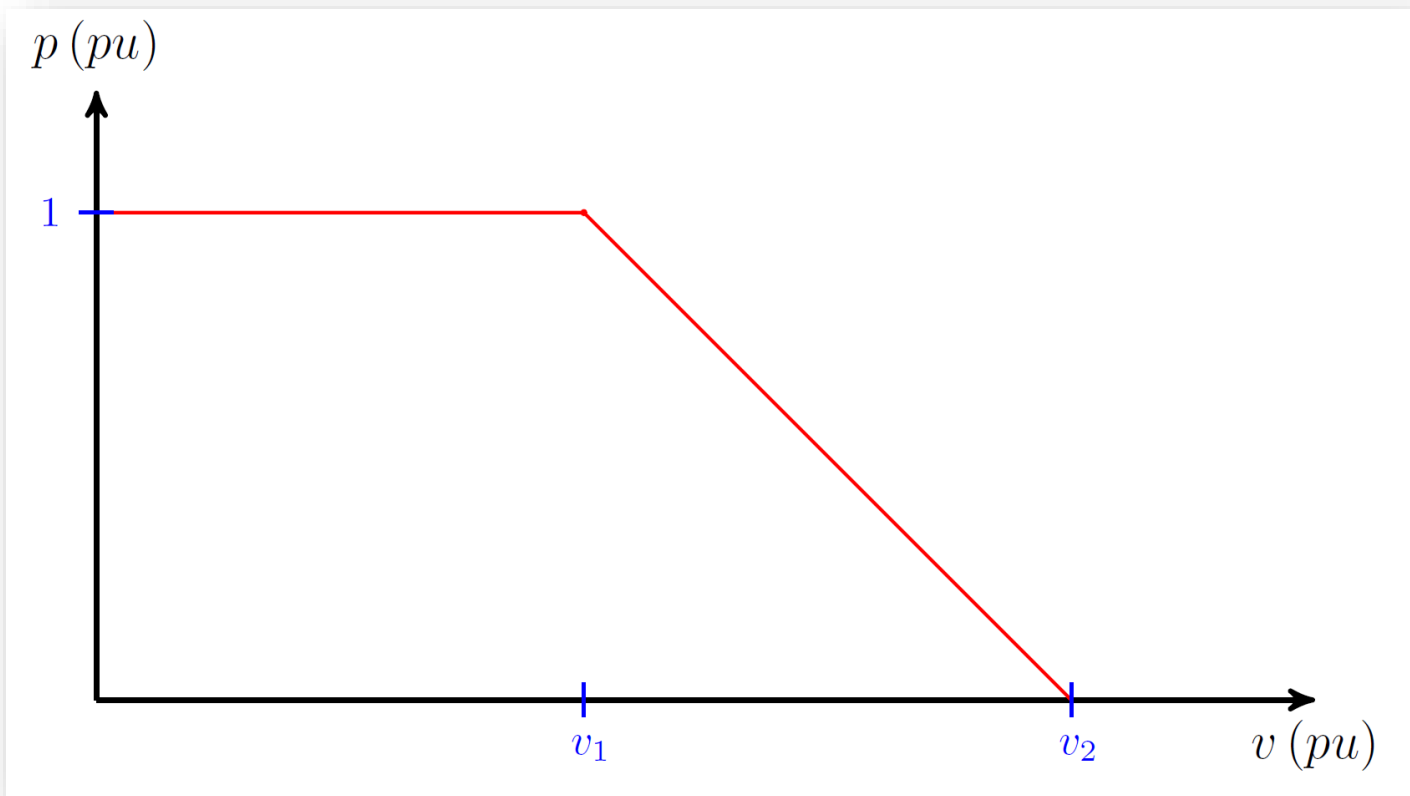


Volt-Var – Limite de var

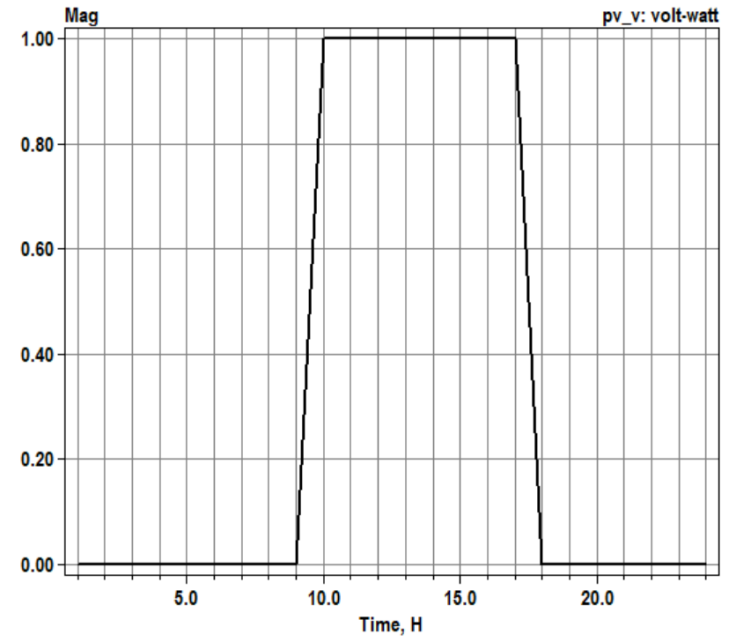
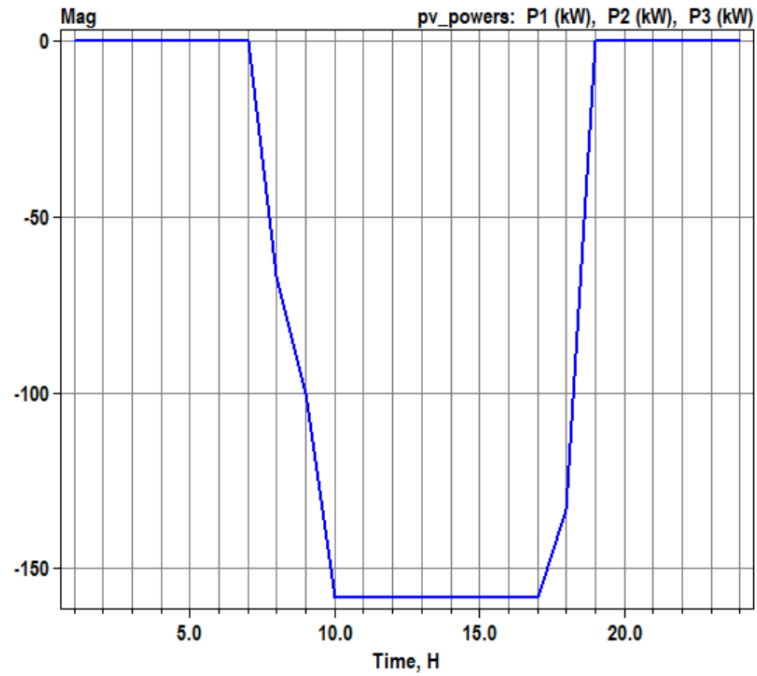


Volt-Watt

- Opera quando a potência em pu está fora da área definida pela curva volt-watt



Volt-watt



Monitorando outras barras

```
New PVSystem2.PV phases=3 bus1=C Pmpp=2000 kV=0.48 kVA=2400 conn=wye EffCurve=Eff
~ P-TCurve=FatorPvst %Pmpp=100 irradiance=1 daily=Irrad Tdaily=Temp

New XYcurve.generic npts=5 yarray=[1 1 0 -1 -1] xarray=[0.5 0.92 1.0 1.05 1.5]

New InvControl2.VV_DRC CombiMode=VV_DRC voltage_curvex_ref=avg avgwindowlen=2s
~ DbVMin=1 DbVMax=1 ArGraLowV=50 arGraHiV=50 DynReacavgwindowlen=2s
~ vvc_curve1=generic deltaQ_factor=0.1 RefReactivePower=VARMAX varchange tolerance=0.001
~ monVoltageCalc=MAX MonBus=[A.1.2 A.2 C.1.2 C.2] monBusesVbase=[13800 7967.433415 480 277.128129]
```

Materials de suporte

- PVSystem2 and InvControl2 doc:
https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Version8/Distrib/Examples/InverterModels/PVSystem2/PVSystem2_InvControl2.pdf
- DSS examples:
<https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Version8/Distrib/Examples/InverterModels/PVSystem2/>

Together...Shaping the Future of Electricity