O Elemento *Storage do OpenDSS*

Celso Rocha

Mestrando EPUSP - Enerq

VII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos

Niterói – RJ

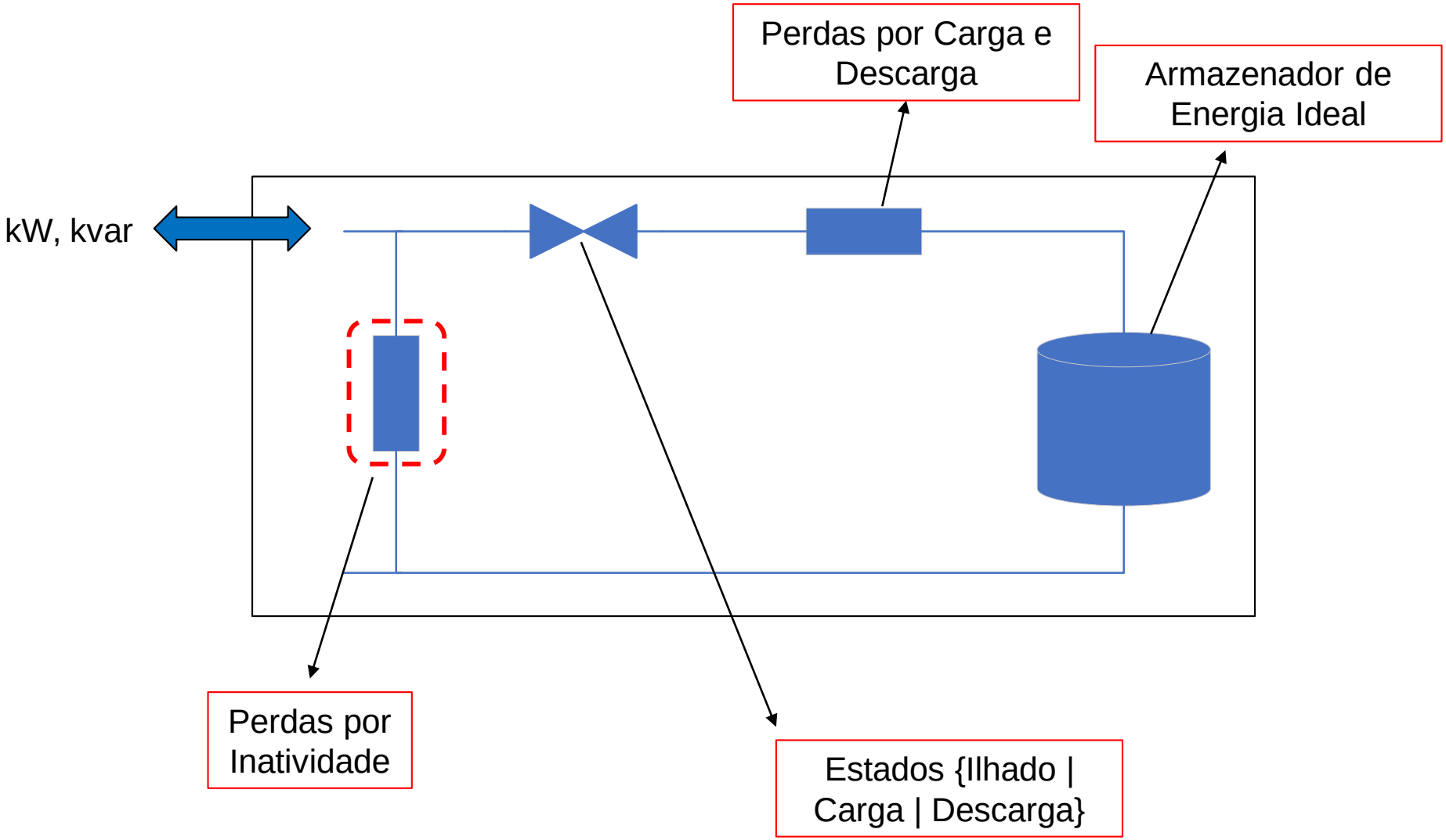
13/05/2018

SBSE 2018
VII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos

Visão Geral

- Modelo Básico
- Perdas por Inatividade
- Estados de Operação
- Modos de Operação
- Informações Adicionais
- Referências

Modelo Básico



Perdas por Inatividade (*Idling Losses*)

- Representam o consumo de energia dos equipamentos auxiliares do armazenador (refrigeração, controle, etc...);
- Modeladas por uma impedância constante;
- Definidas como uma porcentagem da potência nominal (parâmetro *kWRated) do* armazenador;

$$P_n = \frac{|V_n|^2}{R} = \%idlingkW \times kWRated \times 10\ [W]$$

$$Q_n = \frac{|V_n|^2}{X} = \%idlingkvar \times kWRated \times 10\ [var]$$

$$R = \frac{|V_n|^2}{\%idlingkW \times kWRated \times 10}\ [\Omega]$$

$$X = \frac{|V_n|^2}{\%idlingkvar \times kWRated \times 10}\ [\Omega]$$

Perdas por Inatividade (*Idling Losses*)

- Representam o consumo de energia dos equipamentos auxiliares do armazenador (refrigeração, controle, etc...);
- Modeladas por uma impedância constante;
- Definidas como uma porcentagem da potência nominal (parâmetro *kWRated) do* armazenador;

$$\bar{Y}_{idling} = \frac{1}{R} + \frac{1}{j \times X} = (\%idlingkW - j \times \%idlingkv\overset{*}{a}r) \times \frac{kWrated \times 10}{|V_n|^2} \; [S]$$

*: na versão mais recente, %idlingkvar > 0 leva à geração de reativos

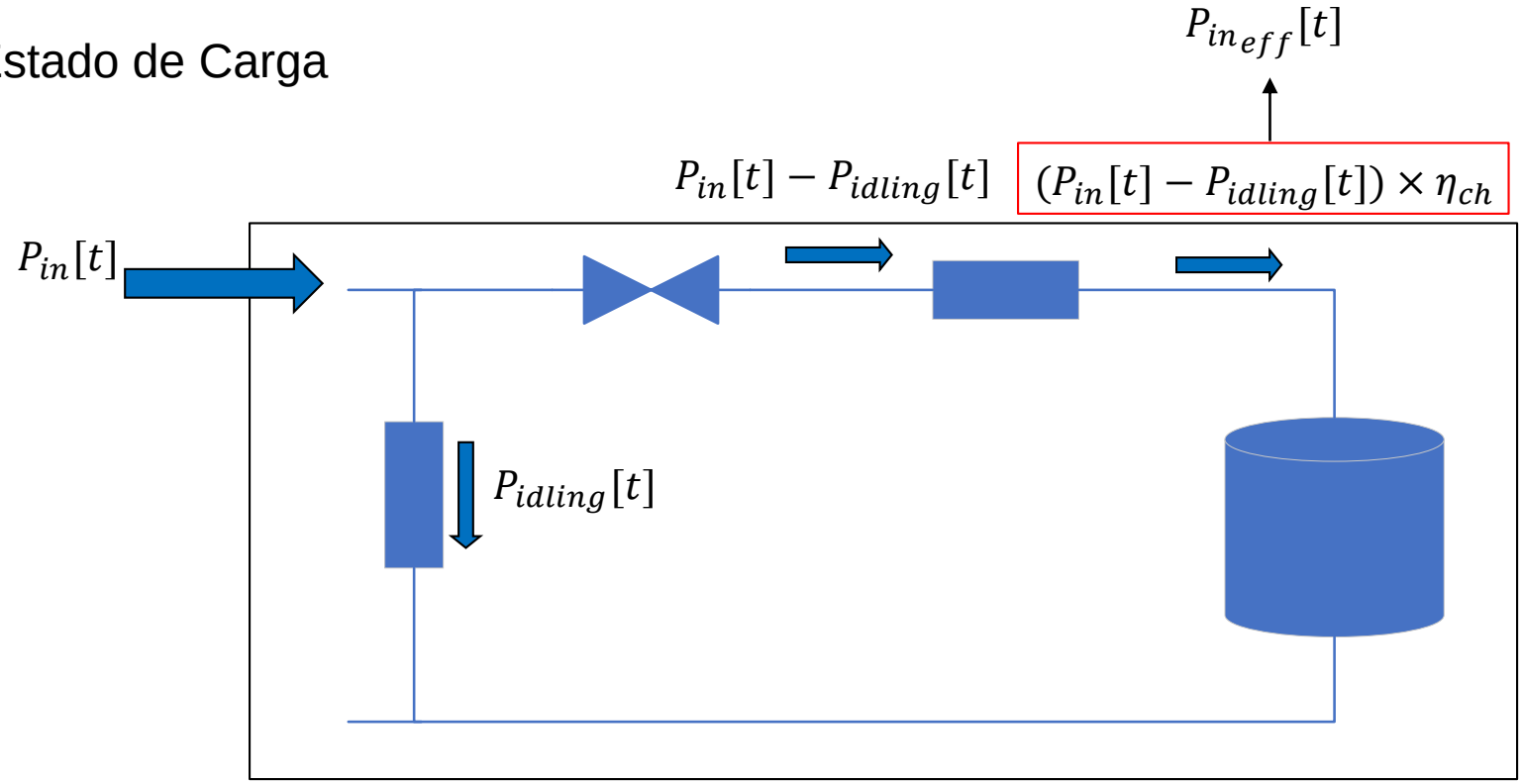
Perdas por Inatividade (*Idling Losses*)

- Representam o consumo de energia dos equipamentos auxiliares do armazenador (refrigeração, controle, fricção, etc...);
- Modeladas por uma impedância constante;
- Definidas como uma porcentagem da potência nominal (parâmetro *kWRated) do* armazenador;
- Por fim, supondo um elemento armazenador trifásico, a perda por inatividade é trifásica é dada por:

$$\bar{S}_{idling} = \sum_{i=1}^{3} \bar{Y}^{*}{}_{idling} \times |V_i|^2 \ \ [VA]$$

Estados de Operação

- Estado de Carga



➢ Perdas Carga:

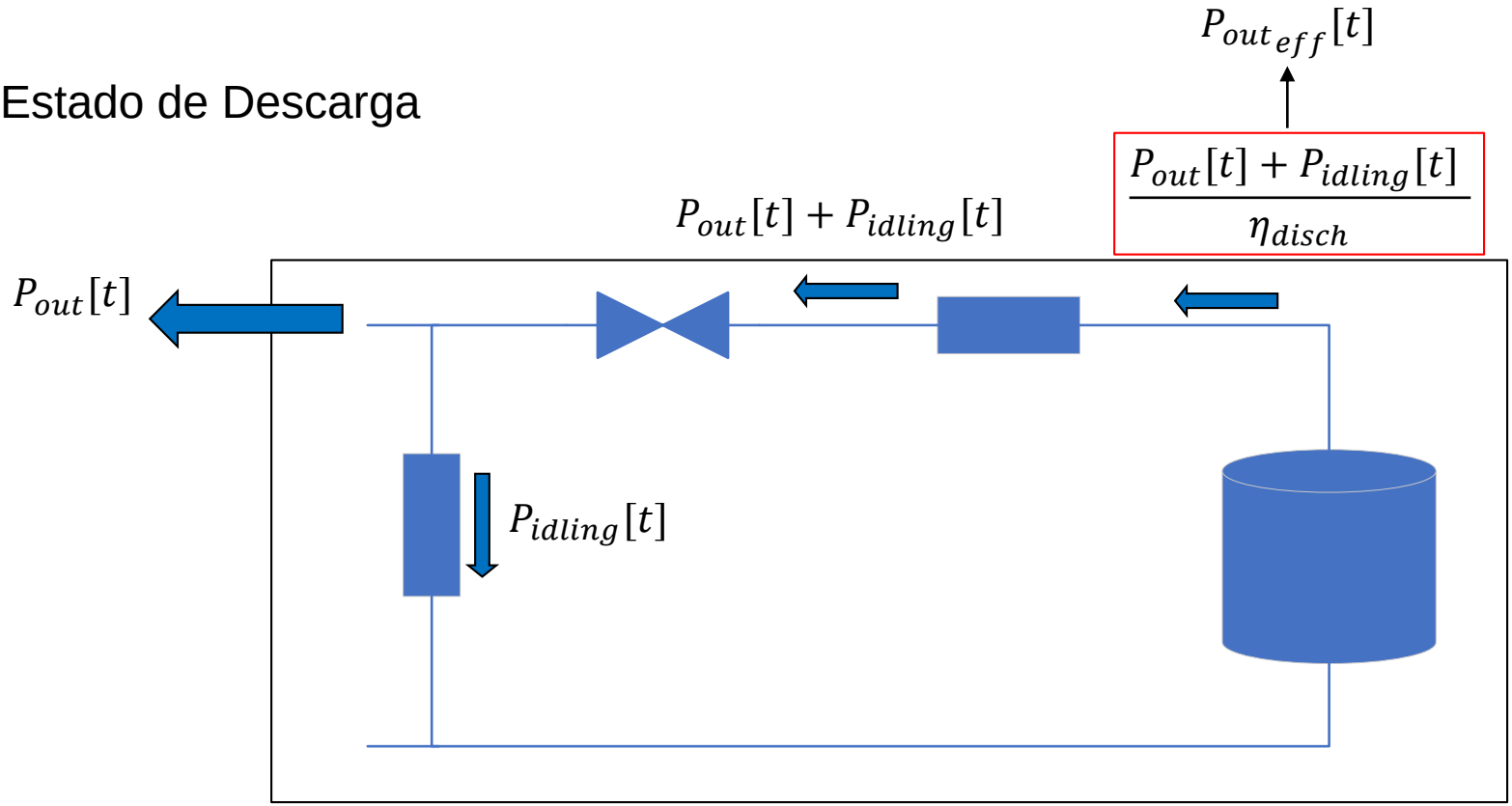
$$Perdas_{ch}[t] = (1 - \eta_{ch})\, X (P_{in}[t] - P_{idling}[t])$$

➢ Perdas Totais:

$$Perdas_{tot}[t] = P_{in}[t] \times (1 - \eta_{ch}) + P_{idling}[t] \times \eta_{ch}$$

Estados de Operação

- Estado de Descarga



➢ Perdas Descarga:

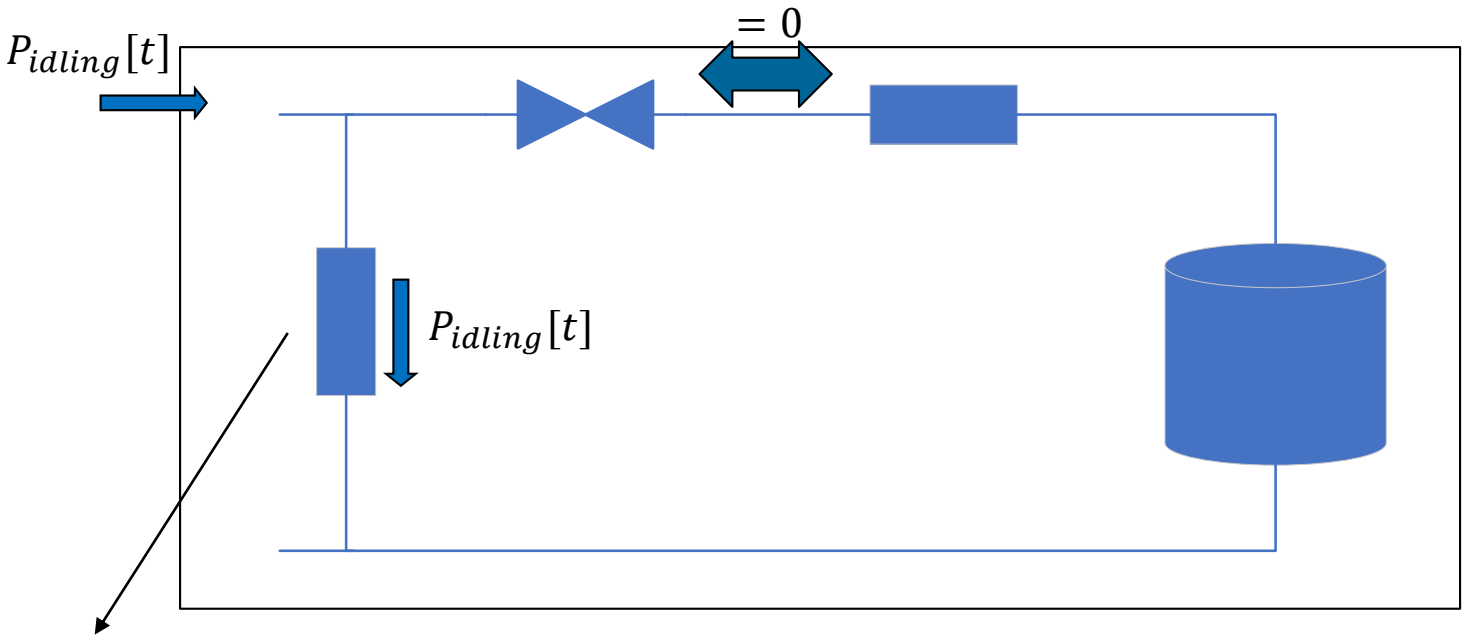
$$Perdas_{disch}[t] = (P_{out}[t] + P_{idling}[t]) \times \left(\frac{1}{\eta_{disch}} - 1\right)$$

➢ Perdas Totais:

$$Perdas_{tot}[t] = P_{out}[t] \times \left(\frac{1}{\eta_{disch}} - 1\right) + P_{idling}[t] \times \frac{1}{\eta_{disch}}$$

Estados de Operação

- Estado de Inatividade



Supridas pela rede!

Modos de Operação

- 5 Modos: Padrão (*Default*), Nível de Carga (*LoadLevel*), Nível de Preço (*PriceLevel*), Seguidor (*Follow*) e Externo (*External*)

- Regra Geral. O elemento opera em um estado até que:
  - A energia armazenada atinja a capacidade máxima ou a mínima, nos casos de carga e descarga, respectivamente;
  - Algum gatilho seja disparado (válido para os modos que operam com gatilhos);
  - O usuário selecione diretamente um estado através do parâmetro "*state";*

- Circuito de testes:

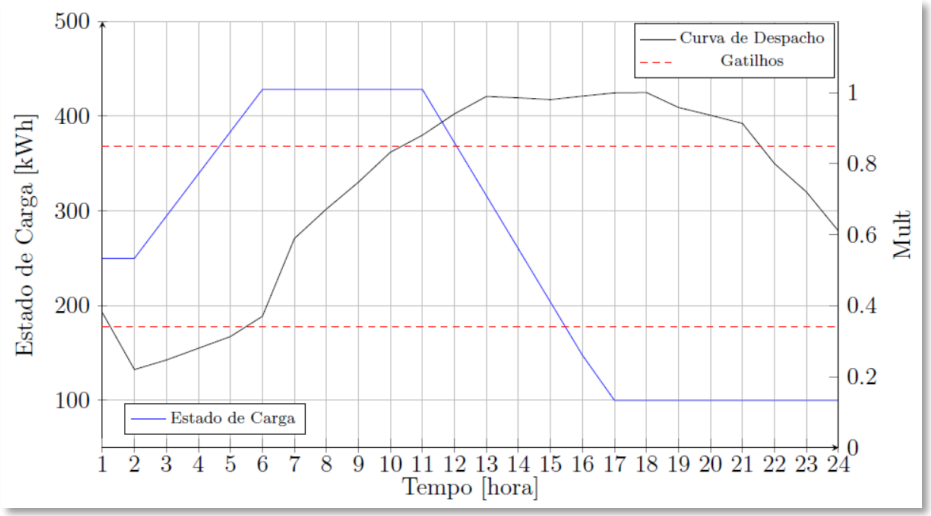
Modos de Operação

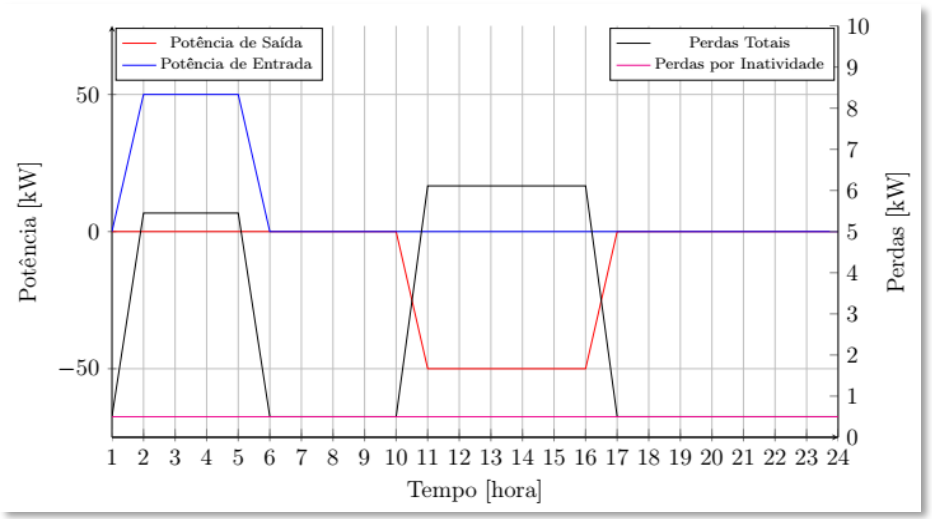
- *Default* (Padrão)

```
! Storage - Modo Default
Clear

New Circuit.Source bus1=A basekv=0.48 phases=3 pu=1

New LoadShape.dispatch_shape interval=1 npts=24
~ mult = [0.380,0.320,0.247,0.280,0.313,0.370,0.589,0.672,0.7477,0.832,0.88,0.94,0.989,0.985,0.98,0.9898,0.999,
1.0,0.958,0.936,0.913,0.800,0.720,0.610]

New Storage.Storage1 phases=3 bus1=A kv=0.48  pf=1 kWrated=50 %reserve=20
~ kWhrated=500 %stored=50 state=idling debugtrace=yes dispmode=default model=1 daily=dispatch_shape
~ ChargeTrigger = 0.34  DischargeTrigger = 0.85

New Monitor.Mon_Storage1_State element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=3
New Monitor.Mon_Storage1_Powers element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=1 ppolar=No

Set voltagebases = [0.48]
Calcvoltagebases

Set mode=Daily
Solve

Plot Monitor object=Mon_Storage1_State channels=(1 2 3 4 5 6 7)
Plot Monitor object=Mon_Storage1_Powers channels=(1 3 5)
```

Modos de Operação

- *Default* (Padrão)





$$Perdas_{disch} = (P_{out} + P_{idling}) \times \left(\frac{1}{\eta_{disch}} - 1\right) = (50 + 0.5) \times \left(\frac{1}{0.9} - 1\right) = 5.61kW$$

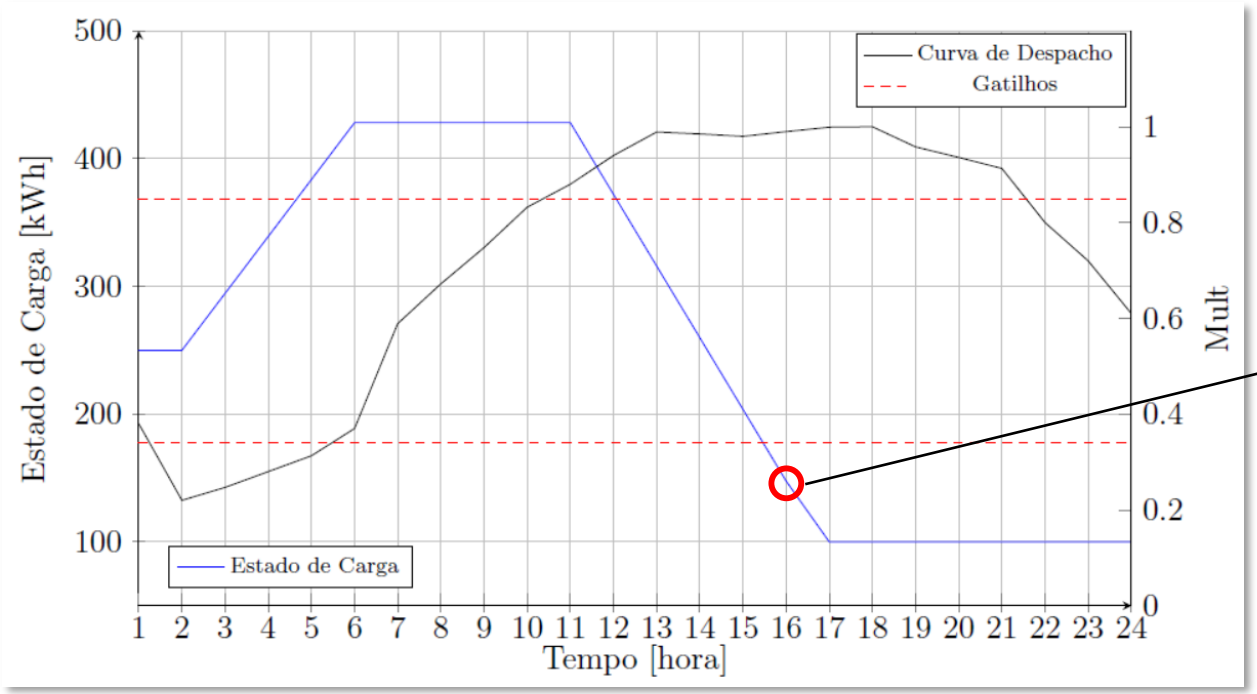
$$Perdas_{ch} = \left(P_{in} - P_{idling}\right) \times \eta_{ch} = (50 - 0.5) \times (1 - 0.9) = 4.95kW$$

$$Perdas_{tot_{disch}} = 5.61 + 0.5 = 6.11\ kW$$

$$Perdas_{tot_{ch}} = 4.95 + 0.5 = 5.45\ kW$$

Modos de Operação

- *Default* (Padrão)



147.644kWh

$Perdas_{tot_{disch}} = 5.61 + 0.5 = 6.11\ kW$

$P_{out_{eff}} = 6.11 + 50 = 56.11\ kW$

$E[17hr] = E[16hr] - 56.11kW \times 1hr = 91.534\ kWh\ ???$

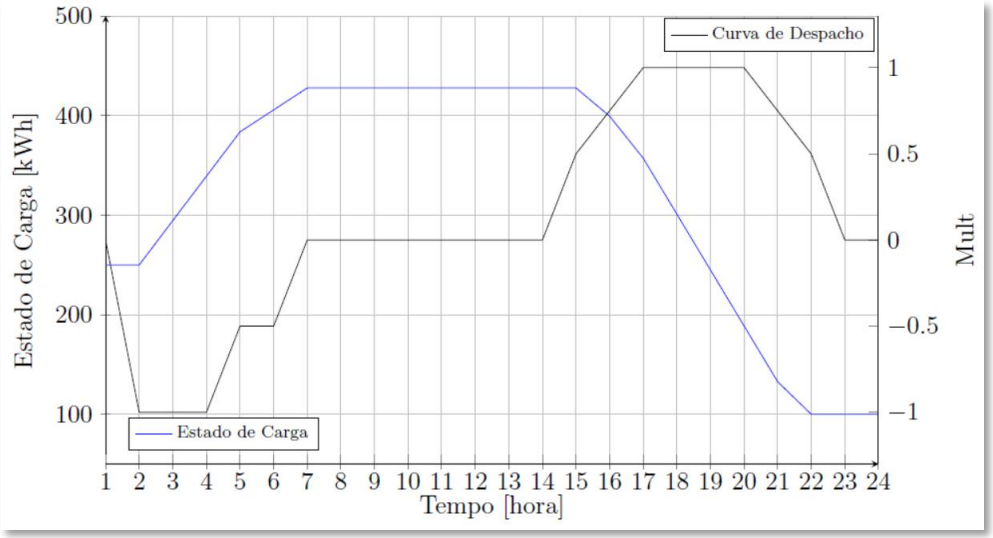
Modos de Operação

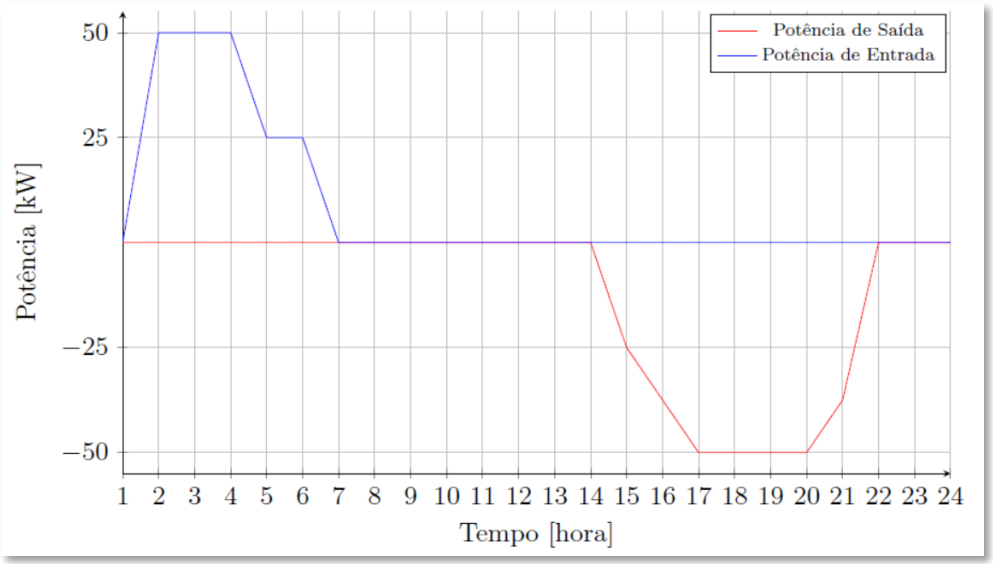
- *Follow* (Seguidor)

```
! Storage - Modo Seguidor
Clear

New Circuit.Source bus1=A basekv=0.48 phases=3 pu=1

New LoadShape.dispatch_shape interval=1 npts=24
~ mult = [0,-1.0,-1.0,-1.0,-0.5,-0.5,0,0,0,0,0,0,0,0,0.5,0.75,1.0,1.0,1.0,1.0,0.75,0.5,0,0]

New Storage.Storage1 phases=3 bus1=A kv=0.48  pf=1 kWrated=50 %reserve=20
~ kWhrated= 500 %stored=50 state=idling debugtrace=yes dispmode=follow model=1 daily=dispatch_shape

New Monitor.Mon_Storage1_State element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=3
New Monitor.Mon_Storage1_Powers element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=1 ppolar=No

Set voltagebases = [0.48]
Calcvoltagebases

Set mode=Daily
Solve

Plot Monitor object=Mon_Storage1_State channels=(1 2 3 4 5 6 7)
Plot Monitor object=Mon_Storage1_Powers channels=(1 3 5)
```

Modos de Operação

- *Follow* (Seguidor)
  - Mult < 0: Carga
  - Mult >0: Descarga
  - Mult = 0: Inativo
  - Potência do *storage* varia com os valores da curva de carga
  - Curva só é obedecia se o estado de carga permitir





SBSE 2018
VII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

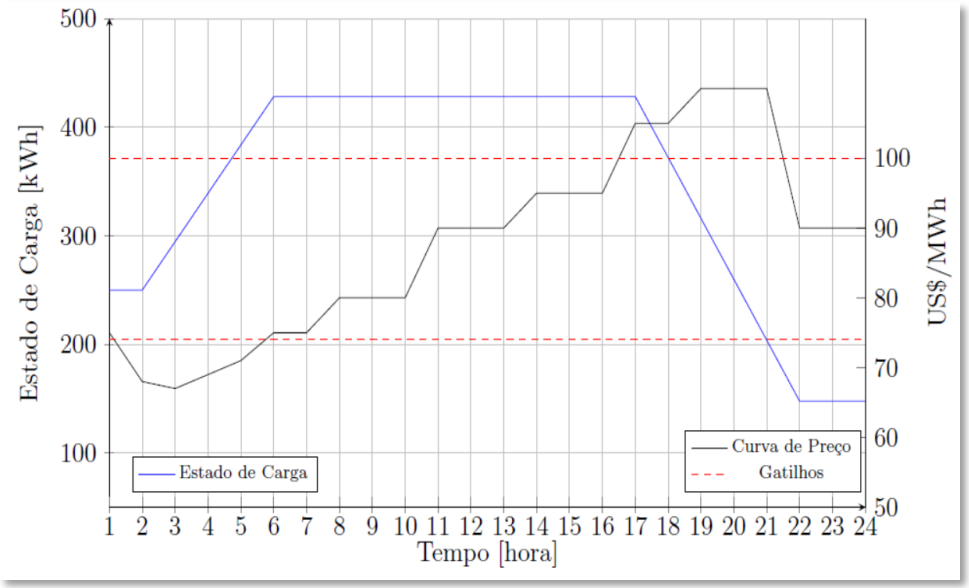
Modos de Operação

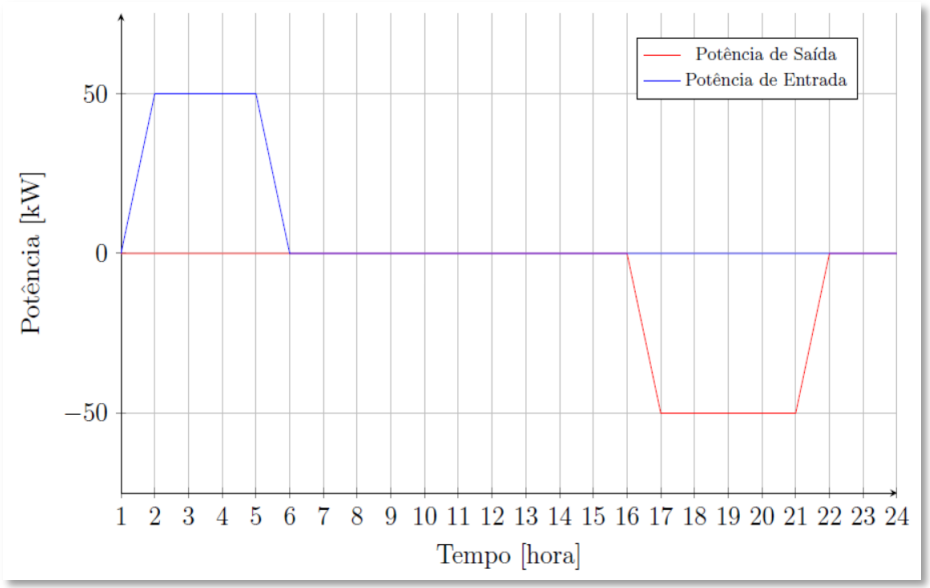
- *Price e LoadLevel* (Preço e Nível de Carga)

```
! Storage - Modo Price
Clear

New Circuit.Source bus1=A basekv=0.48 phases=3 pu=1

New PriceShape.Price interval=1 npts=24
~ price = [75,68,67,69,71,75,75,80,80,80,90,90,90,95,95,95,105,105,110,110,110,90,90,90]

New Storage.Storage1 phases=3 bus1=A kv=0.48  pf=1 kWrated=50 %reserve=20
~ kWhrated= 500 %stored=50 state=idling debugtrace=yes dispmode=price model=1
~ DischargeTrigger = 100 ChargeTrigger= 74


New Monitor.Mon_Storage1_State element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=3
New Monitor.Mon_Storage1_Powers element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=1 ppolar=No

Set voltagebases = [0.48]
Calcvoltagebases

Set pricecurve=Price
Set mode=Daily
Solve

Plot Monitor object=Mon_Storage1_State channels=(1 2 3 4 5 6 7)
Plot Monitor object=Mon_Storage1_Powers channels=(1 3 5)
```

Modos de Operação

- *Price e LoadLevel* (Preço e Nível de Carga)





SBSE 2018
VII Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

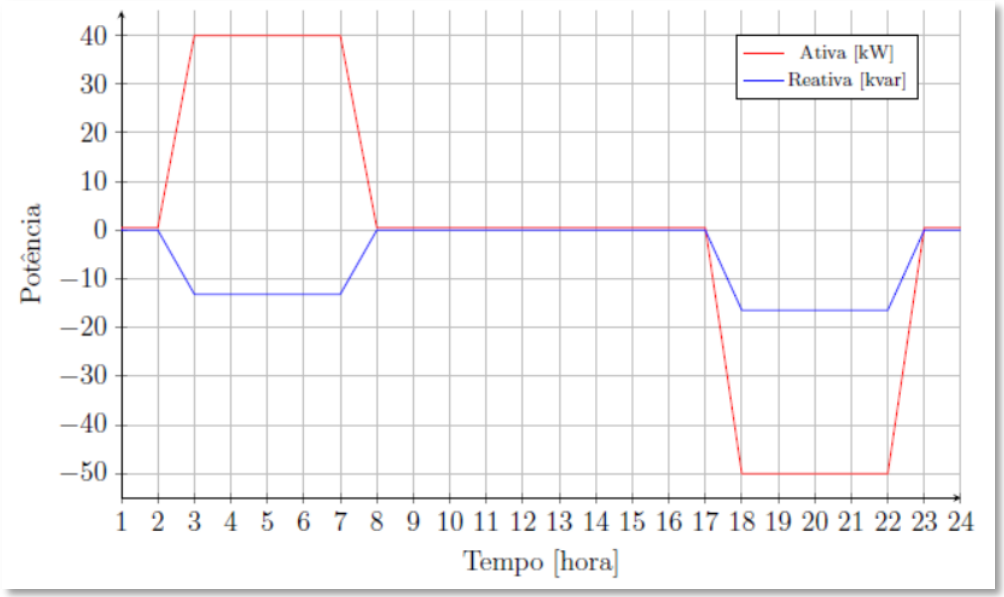
Modos de Operação

- *External*(Controle “Externo”)

```
! Storage - Modo Manual com Reativos especificados com Fator de Potência
Clear

New Circuit.Source bus1=A basekv=0.48 phases=3 pu=1

New Storage.Storage1 phases=3 bus1=A kv=0.48  pf=1 kWrated=50 %reserve=20
~ kWhrated= 500 %stored=50 state=idling debugtrace=yes dispmode=External model=1

New Monitor.Mon_Storage1_State element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=3
New Monitor.Mon_Storage1_Powers element=Storage.Storage1 terminal=1 mode=1 ppolar=No

Set voltagebases = [0.48]
Calcvoltagebases

Set mode=Daily
Set stepsize=1h
```

Modos de Operação

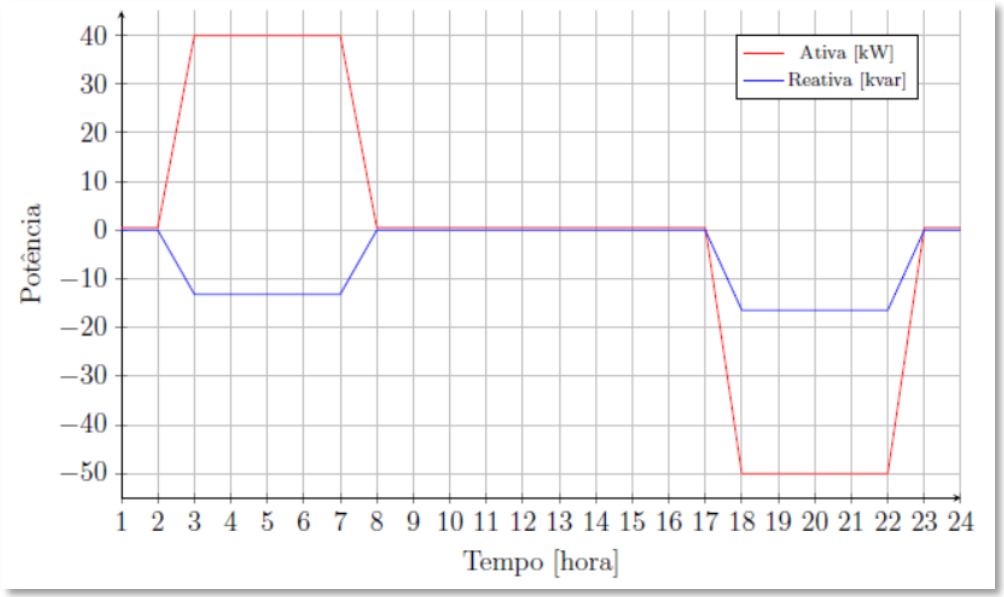
- *External*(Controle “Externo”)




```
// Armazenador ilhado nas duas primeiras horas
// 01:00hr - 02:00hr
Set number=2
Solve
```

Modos de Operação

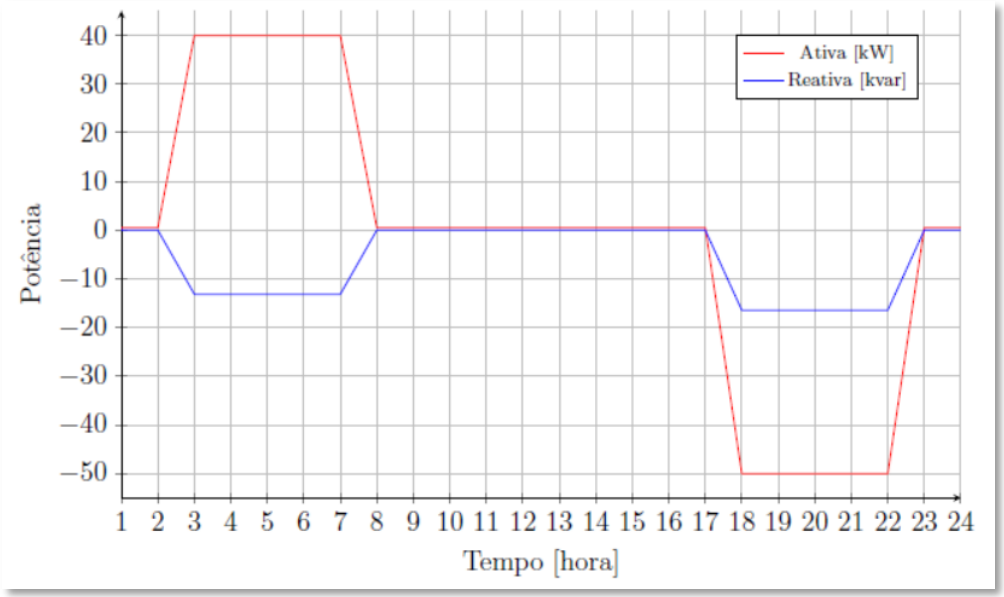
- *External*(Controle “Externo”)




```
// Armazenador carregando nas 5 horas seguintes com uma potência de 80% da potência
// nominal e um fator de potência de −0.95
// 03:00hr − 07:00hr
Edit Storage.Storage1 state=charging  %charge=80 pf=−0.95
Set number=5
Solve
```

Modos de Operação

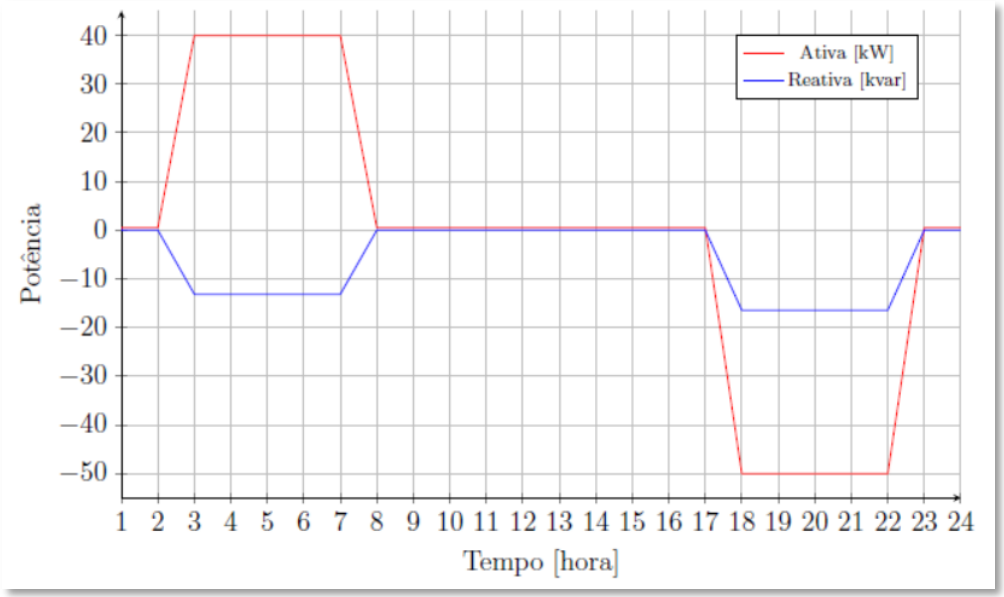
- *External*(Controle “Externo”)




```
// Armazenador ilhado nas 10 horas seguintes
// 08:00hr - 17:00hr
Edit Storage.Storage1 state=idling
Set number= 10
Solve
```

Modos de Operação

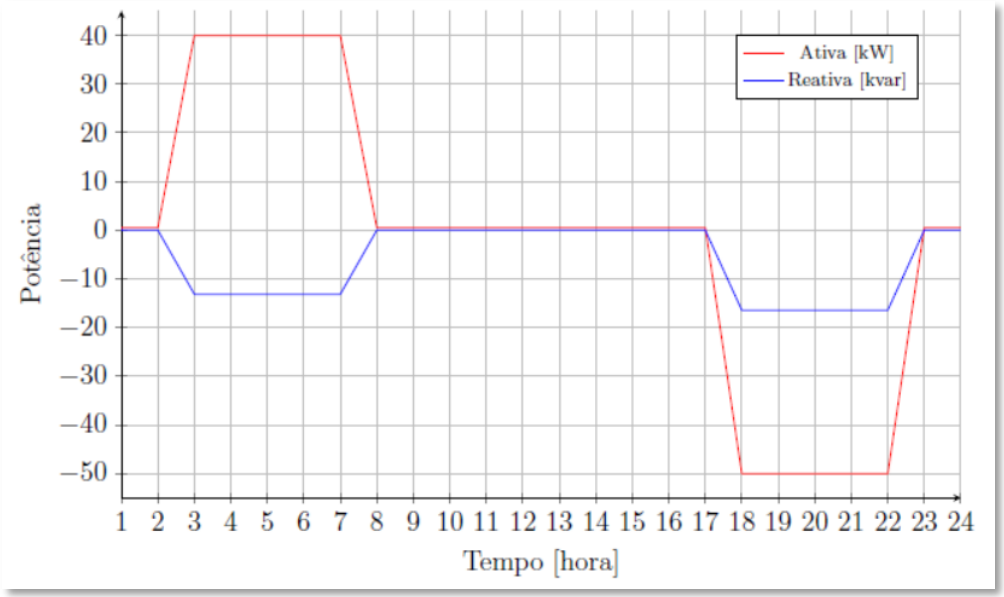
- *External*(Controle “Externo”)




```
// Armazenador descarregando nas 5 horas seguintes com potência nominal e um fator
// de potência de 0.95
// 18:00hr - 22:00hr
Edit Storage.Storage1 state=discharging %discharge=100 pf=0.95
Set number=5
Solve
```

Modos de Operação

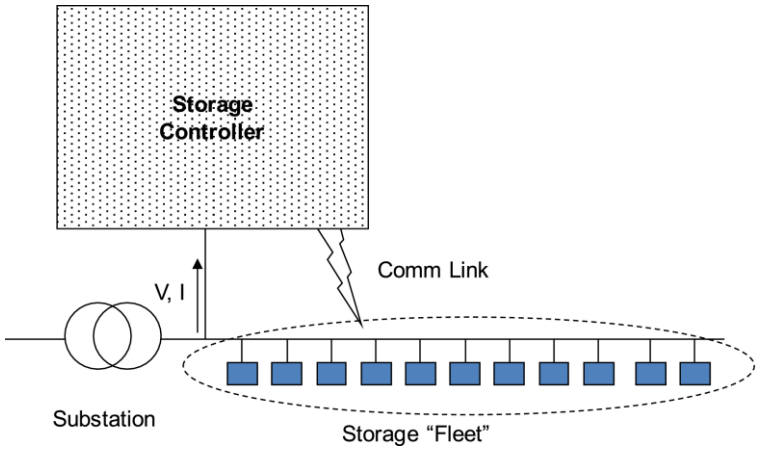
- *External*(Controle “Externo”)




```
// Armazenador ilhado nas 2 horas restantes do dia
// 23:00hr - 24:00hr
Edit Storage.Storage1 state=idling
Set number= 2
Solve
```

Informações Adicionais

- *StorageController*
  - *Controle de múltiplos Armazenadores*
  - Modos de Controle:
    - Descarga:
      - PeakShave
      - Follow
      - Support
      - Loadshape (similar ao modo Follow local)
      - Time
      - Schedule
    - Carga:
      - Loadshape
      - Time



Referências

- EPRI: OpenDSS STORAGE Element and STORAGECONTROLLER Element. https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/Doc/OpenDSS%20STORAGE%20Element.pdf. [Online;acessado em 10/05/2018].
- Dugan, R. C., J. A. Taylor e D. Montenegro: Energy Storage Modeling for Distribution Planning.IEEE Transactions on Industry Applications, 53(2):954{962, March 2017, ISSN 0093-9994.
- Rocha, Celso: Analise e Mitigação de Impacos da Conexão de Geração Distribuída, Microgeração Distribuída e Armazenadores em Alimentadores de Distribuição Utilizando o Software OpenDSS. https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/Examples/Celso_Example/TCC_CelsoRocha.pdf, 2016. [Online; acessado em 10/05/2018].

Obrigado!
Dúvidas?