

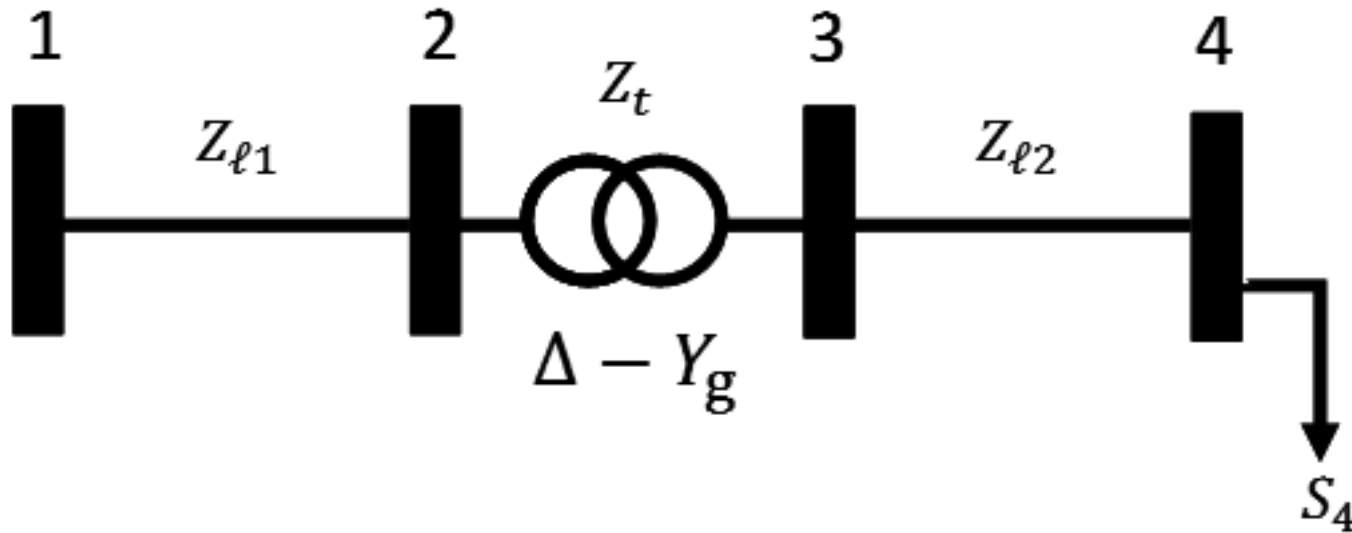
# Análises em redes de distribuição de energia elétrica

Sistemas Elétricos de Potência II

# OpenDSS

- Utilizado em simulações de sistemas de distribuição no domínio da frequência  
<https://sourceforge.net/projects/electricdss/>
- Permite criar modelos para suportar a análise de sistemas de distribuição
- Prevê características específicas da rede, tais como o desbalanço das cargas, e assimetrias dos parâmetros
- Modela redes monofásicas, bifásicas e trifásicas, a três ou quatro condutores

# Exemplo



- Circuito formado por uma rede radial de 4 barras, por duas linhas de distribuição, e um transformador
- A rede apresenta uma carga conectada à barra 4

- Em um programa de fluxo de carga convencional, normalmente:
  - inicialmente se especifica as barras do sistema
  - posteriormente, se indica qual equipamento está sendo conectado a cada uma das barras
- No OpenDSS
  - inicialmente são declarados os componentes
  - nesta declaração está as conexões com as barras

- A interpretação do nome das barras é feita ao identificar o equipamento
- Quando os nomes são iguais, os equipamentos estão ligados na mesma barra
- Exemplo de especificação:
  - uma linha  $\ell_1$  em cujos terminais estão as barras 1 e 2
  - um transformador cujas barras do primário e secundário estão conectadas às barras 2 e 3
  - uma linha  $\ell_2$  entre as barras 3 e 4, e
  - uma carga conectada à barra 4

- A interpretação do software se encarrega de processar a conexão da  $\ell 1$  com o transformador, do transformador com a  $\ell 2$  e desta com a carga
- Os modelos dos componentes podem ser divididos basicamente em 3:
  - modelo de Barras (Bus)
  - modelo de elementos passivos da rede (PD – Power delivery elements), consistindo em elementos de dois ou mais terminais (linhas, transformadores, capacitores, indutores)
  - elementos que consomem energia (PC – Power Consumers) sendo estes elementos de apenas um terminal (geradores, cargas, equivalentes, baterias, entre outros)

- Modelagem dos principais elementos que compõem o sistema de distribuição:
  - **Circuit:** o equivalente da transmissão
  - **Transformer:** os transformadores
  - **Line:** as linhas de distribuição
  - **Load:** as cargas
  - **Capacitor:** capacitores

# Tela inicial

OpenDSS Data Directory: C:\ODSS\

File Edit Do Set Make Export Show Visualize Plot Reset Help

Source/Fault Vsource

Base Frequency = 60 Hz

C:\users\x\My Documents\OpenDSS\exemplo-p96.dss

Results for Actor ID # 1  
 CPU selected : -1  
 Status = SOLVED  
 Solution Mode = Snap  
 Number = 1  
 Load Mult = 1.000  
 Devices = 8  
 Buses = 4  
 Nodes = 12  
 Control Mode = STATIC  
 Total Iterations = 4  
 Control Iterations = 1  
 Max Sol Iter = 4

- Circuit Summary -

Year = 0  
 Hour = 0  
 Max pu. voltage = 1.0112  
 Min pu. voltage = 0.91237  
 Total Active Power: 4.9979 MW  
 Total Reactive Power: -2.28577 Mvar  
 Total Active Losses: 0.69956 MW, (14 %)  
 Total Reactive Losses: 0.72917 Mvar  
 Frequency = 60 Hz  
 Mode = Snap  
 Control Mode = STATIC  
 Load Model = PowerFlow

```

Set DefaultBaseFrequency=60  !! Define frequência de 60Hz
Set Datapath=C:\ODSS\        !! Define o caminho dos arquivos
!! clear

!! Equivalente da subestação
new circuit.example basekV=138 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3

!! Transformador da subestação
new transformer.Sub phases=3 windings=2 buses=(sourcebus, B1)
  conns=(delta, wye) kvs=(138, 13.8) kvas=(30000, 30000) %loadloss=0 xhl=10

!! Transformador abaixador
new transformer.TLV phases=3 windings=2 buses=(B2, B3)
  conns=(delta, wye) kvs=(13.8, 0.22) kvas=(10000, 10000) %loadloss=0 xhl=5

!! Linha
!! rmatrix = [R11 | R21 R22 | R31 R32 R33]
!! xmatrix = [X11 | X21 X22 | X31 X32 X33]
!! cmatrix = [C11 | C21 C22 | C31 C32 C33]
new linecode.ABC nphases=3 units=km
rmatrix=[ 2.504093 | 0.3798523 2.605409 | 0.3676533 0.3996573 2.517093 ]
xmatrix=[ 1.924003 | 0.35      1.937004 | 0.37      0.40      1.917007 ]
cmatrix=[ 2.8      | -0.6      2.9      | -0.5      -0.7      2.7      ]
new line.lineA-B bus1=B1 bus2=B2 length=2 phases=3 units=km linecode=ABC

!! Carga
new load.CARGAa bus1=B3.1 phases=1 kV=0.127 kW=2000 kvar=640 model=1 conn=wye
new load.CARGAb bus1=B3.2 phases=1 kV=0.127 kW=1000 kvar=330 model=1 conn=wye
new load.CARGAc bus1=B3.3 phases=1 kV=0.127 kW=1500 kvar=540 model=1 conn=wye

!! Capacitor
  
```

Main exemplo-roteiro-aula-pratica.dss exemplo-p92.dss exemplo-p96.dss

Messages OpenDSS - C:\users\x\My Documents\OpenDSS\exemplo-p92.dss

Summary Results

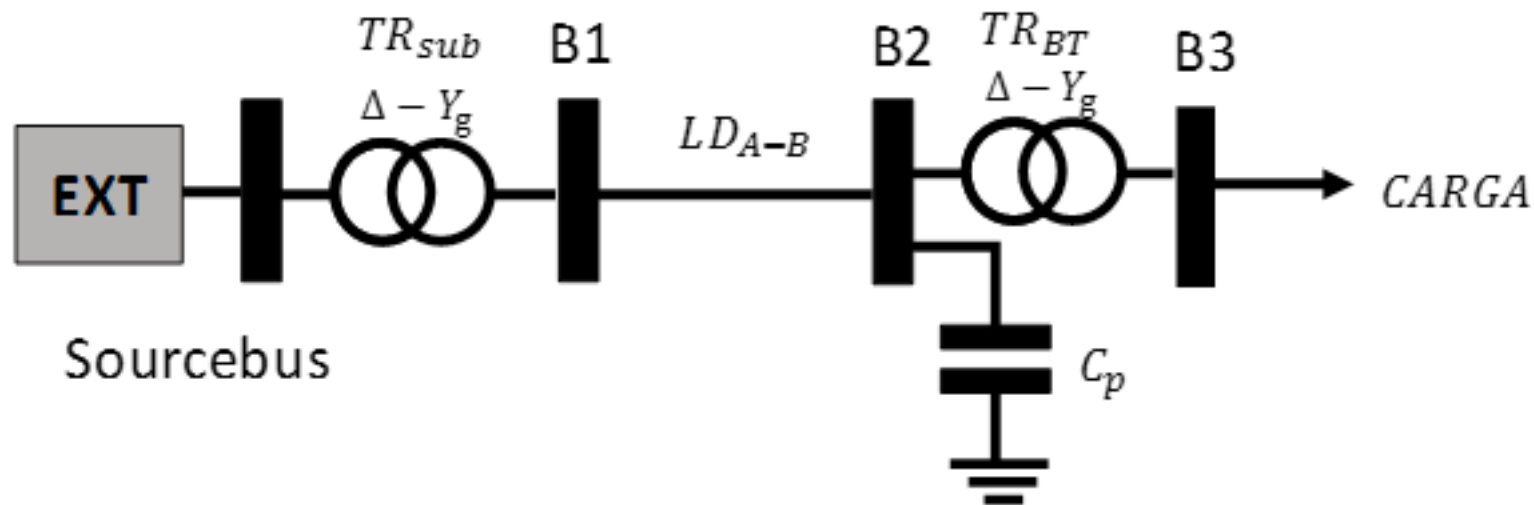
Memory: 67860K Circuit Status: SOLVED Total Iterations = 4, Control Iterations = 1, Max Solution Iterations = 4

(rodando  
no Linux  
usando  
Wine)



- A tela inicial do OpenDSS tem basicamente 4 campos:
  - a barra de ferramentas
    - compilação e simulação
    - extração dos resultados
  - área na qual efetivamente o código do sistema a ser simulado será inserido
  - as janelas de mensagens
  - a área de resultados e resumo
- O arquivo de entrada é um script com os dados da rede e os parâmetros de simulação

## Exemplo (p. 86)



- Rede de distribuição simplificada com os principais elementos e seus parâmetros, formada por um transformador

- características dos parâmetros da rede

| Subestação: 138kV  |                                    |   |   |
|--|------------------------------------|---|---|
| <p>Linha de distribuição () de 1,5 km</p> <p>Matrizes triangulares inferiores dos parâmetros série (em Ohms/km):</p> $R = [2.504093 \mid 0.3798523 \ 2.605409 \mid 0.3676533 \ 0.3996573 \ 2.517093]$ $X = [1.924003 \mid 0.35 \ 1.937004 \mid 0.37 \ 0.40 \ 1.917007]$ <p>Matriz triangular inferior da Capacitância shunt (em nF/km):</p> $C = [2.8 \mid -0.6 \ 2.9 \mid -0.5 \ -0.7 \ 2.7]$ |                                    |   |   |
| TRsub  | TRBT                               | Carga   | Cp  |
| 138kV / 13.8kV<br>30MVA<br>X% = 10%  | 13.8kV / 220 V<br>10MVA<br>X% = 5% | Potência constante<br>$S_a = 2000 + j640$<br>$S_b = 1000 + j330$<br>$S_c = 1500 + j540$ | Banco trifásico<br>5000 KVAr<br>13.8kV<br>Conexão estrela |

```
Set DefaultBaseFrequency=60    !! Define frequência de 60Hz  
Set Datapath=C:\ODSS\          !! Define o caminho dos arquivos  
clear
```

- frequência na qual a rede opera
- local onde está o arquivo de entrada a ser simulado, e onde será salvo a saída (ele também usa um diretório na área do usuário)

!! Equivalente da subestação

```
new circuit.Exemplo basekV=138 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3
```

- Iniciamos o circuito a ser simulado, no qual colocaremos as informações principais da rede externa ao sistema de distribuição
- **new circuit** define o equivalente de Thevenin externo à rede, que é basicamente formado por uma fonte trifásica equilibrada em série com uma impedância trifásica também equilibrada

- Uma vez que essas configurações iniciais tenham sido feitas, podemos partir para descrever os elementos do circuito
- Temos dois transformadores, uma linha de distribuição, uma carga e um capacitor conectados à rede
- Comandos para cada um desses elementos:

`new <elemento>.<nome do elemento> <parâmetros>`

- O OpenDSS utiliza o modelo pi das linhas, ou seja, além das resistências e reatâncias série, devem ser informadas as capacitâncias shunt da linha
- Se as capacitâncias não forem informadas, o OpenDSS utiliza um valor padrão típico para linhas de distribuição

- Para informar as impedâncias da linha diretamente, duas formas podem ser utilizadas:
  - para o caso de linhas equilibradas
    - utilizam-se os valores de sequência positiva ( $R_1$ ,  $X_1$  e  $C_1$ ) e zero ( $R_0$ ,  $X_0$  e  $C_0$ ), sendo as resistências e reatâncias em Ohms/km e as capacitâncias em nF/km
  - para passar parâmetros equilibrados e/ou parâmetros desequilibrados no comando `line`
    - é preciso especificar a matriz triangular inferior de cada uma das matrizes de impedância série e capacitâncias shunt (também dadas em Ohms/km e nF/km)



!! Comando new Line

```
new Line.<nome> bus1=<nome barra 1> bus2=<nome barra 2>
length =<comprimento em km> unit=km
R1=<valor R1> X1=<valor X1> C1=<valor C1> R0=<valor R0>
X0=<valor X0> C0=<valor C0>
```

!! Comando Line com matrizes triangulares

```
new Line.<nome> bus1=<nome barra 1> bus2=<nome barra 2>
length =<comprimento em km> unit=km
rmatrix = [R11 | R21 R22 | R31 R32 R33]
xmatrix = [X11 | X21 X22 | X31 X32 X33]
cmatrix = [C11 | C21 C22 | C31 C32 C33]
```

# Observações

- Matriz “normal”, e no formato “triangular inferior”:
  - (3x3 matrix)
    - $X_{matrix} = [1.2 \ .3 \ .3 \mid .3 \ 1.2 \ 3 \mid .3 \ .3 \ 1.2]$
  - (3x3 matrix lower triangle)
    - $X_{matrix} = [1.2 \mid .3 \ 1.2 \mid .3 \ .3 \ 1.2]$
- O primeiro barramento deve ter o nome “sourcebus” (ao invés de por exemplo “B1”)
- Para executar: Ctrl+A para selecionar tudo e depois Ctrl+D

- `new Linecode.<nome>`
- O comando Linecode é utilizado para estabelecer um padrão elétrico que possa ser utilizado por mais de uma das linhas do sistema de distribuição, ou seja, uma mesma impedância e capacitância por quilômetro
- As linhas utilizadas na rede podem utilizar este Linecode simplificando a descrição das linhas
- Este comando é importante quando a rede é muito grande com muitas linhas

!! Linecode para linhas

```
new Linecode.<nome LC> nphases=3 basefreq=60 units=km
rmatrix = [R11 | R21 R22 | R31 R32 R33]
xmatrix = [X11 | X21 X22 | X31 X32 X33]
cmatrix = [C11 | C21 C22 | C31 C32 C33]
```

!! Declaração das linhas

```
new Line.<LD1> phases=3 bus1=<nome b1> bus2=<nome b2>
length =<comprimento 1> unit=km
linecode=<nome LC>
```

```
new Line.<LD2> phases=3 bus1=<nome b1> bus2=<nome b2>
length =<comprimento 2> unit=km
linecode=<nome LC>
```

```
new Line.<LD3> phases=3 bus1=<nome b1> bus2=<nome b2>
length =<comprimento 3> unit=km
linecode=<nome LC>
```

- `new Transformer.<nome>`
- Comando utilizado para incluir transformadores na rede
- O padrão do comando é similar ao Line, no entanto os parâmetros que devem ser informados são outros
- Existe uma grande quantidade de parâmetros que podem ser passados sobre o transformador e esses parâmetros dependerão do tipo de conexão dos enrolamentos (estrela ou triângulo) número de enrolamentos, se é monofásico, bifásico ou trifásico, etc.

```
!! ! Transformador da Subestação  
new transformer.Sub phases=3 windings=2  
buses=(sourcebus, A) conns=(delta, wye) kvs=(138, 13.8)  
kvas=(30000, 30000)  
%loadloss=0 xhl=12.5
```

- Configuração de um transformador conectado em delta no primário e estrela aterrada no secundário com algumas configurações básicas necessárias

- `new Capacitor.<nome>`
- Os bancos de capacitores trifásicos são capacitores conectados em estrela ou delta de forma que forneçam potência reativa ao sistema
- Podem ser inseridos em uma determinada barra com a conexão desejada, como também é possível adicionar capacitores individuais para cada fase

```
new Capacitor.<nome> bus1=<barra> phases=3 kV=<tensão  
nominal> kvar=<pot reativa injetada>
```

- Insere um banco de capacitor trifásico em determinada barra
- O capacitor não é uma carga, mas ele pode ser conectado tanto em série quanto em paralelo com a barra
- Precisamos fornecer a barra na qual o capacitor está conectado



- `new Load.<nome>`
- Para configurar a carga conectada a uma barra temos que inicialmente saber como esta carga está modelada
- As cargas podem apresentar modelos de
  - potência constante
  - impedância constante
  - corrente constante
  - ou mesmo modelos que fazem uma mistura entre estes três tipos: os chamados modelos ZIP
- É mais comum modelar as cargas como do tipo potência constante

!! Carga equilibrada trifásica

```
new load.<nome> bus1=<nome da barra> phases=3  
kV=<tensão nominal da barra> kW=<potencia ativa>  
kvar=<potencia reativa> model=1 conn=<delta ou wye>
```

!! Carga desequilibrada trifásica

```
new load.<nomeA> bus1=<nome da barra>.1 phases=1  
kV=<tensão nominal de fase> kW=<potencia ativa fase a >  
kvar=<potencia reativa fase a> model=1 conn= wye
```

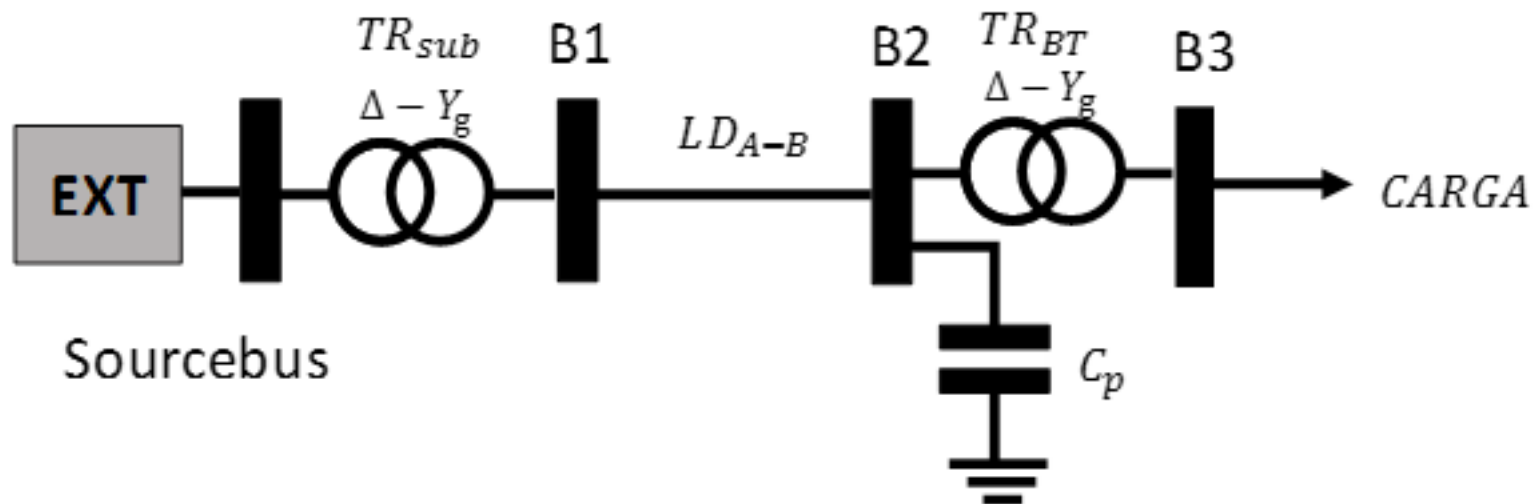
```
new load.<nomeB> bus1=<nome da barra>.2 phases=1  
kV=<tensão nominal de fase > kW=<potencia ativa fase b>  
kvar=<potencia reativa fase b> model=1 conn= wye
```

```
new load.<nomeC> bus1=<nome da barra>.3 phases=1  
kV=<tensão nominal de fase > kW=<potencia ativa fase c >  
kvar=<potencia reativa fase c> model=1 conn= wye
```

- No tipo potência constante é possível fornecer as informações de duas formas diferentes
  - através do fornecimento da potência ativa e reativa, para uma carga equilibrada ou desequilibrada
  - ou passar o valor da potência aparente e o fator de potência da carga, indicando se ele é indutivo ou capacitivo
- Uma vez inserido os elementos e cada um de seus parâmetros devemos finalizar o script
  - significa configurar os parâmetros de simulação e, finalmente, usar o comando solve para rodar o fluxo de carga
- Para configurar os parâmetros de simulação, devemos ajustar as tensões de base do sistema usando os comandos “set voltagebases” e “calcVoltageBases”

- Precisamos definir se a simulação será
  - estática (static), ou
  - dinâmica (dynamic)
- O tipo mais simples é a estática, no entanto podem ser descritos perfis de carga externos com a finalidade de realizar uma simulação dinâmica
- Pode-se definir o modo de simulação, ou seja, como será feito o cálculo podendo ser
  - “snapshot” no caso de simulações estáticas, ou
  - “” no caso de simulações dinâmicas

## Exemplo (p. 91)



- Tomando por base o circuito apresentado e com os dados e parâmetros apresentados no **slide 11**, apresente o script para rodar um fluxo de carga estático da rede

# Resolução

```
Set DefaultBaseFrequency=60    !! Define frequência de 60Hz

Set Datapath=C:\ODSS\          !! Define o caminho dos arquivos

clear

!! Equivalente da subestação
new circuit.example basekV=138 pu=1.0 angle=0 frequency=60 phases=3

!! Transformador da Subestação
new transformer.Sub phases=3 windings=2 buses=(sourcebus, B1)
conns=(delta, wye) kvs=(138, 13.8) kvas=(30000, 30000) %loadloss=0
xhl=10

!! Transformador abaixador
new transformer.TLV phases=3 windings=2 buses=(B2, B3) conns=(delta,
wye) kvs=(13.8, 0.22) kvas=(10000, 10000) %loadloss=0 xhl=5
```

(continua)

!! Linha

```
new linecode.ABC nphases=3 units=km
```

```
rmatrix=[2.504093|0.3798523 2.605409|0.3676533 0.3996573 2.517093]
```

```
xmatrix=[1.924003|0.35 1.937004|0.37 0.40 1.917007 ]
```

```
cmatrix=[2.8 |-0.6 2.9 |-0.5 -0.7 2.7 ]
```

```
new line.lineA-B bus1=B1 bus2=B2 length=2 phases=3 units=km  
linecode=ABC
```

!! Carga

```
new load.CARGAa bus1=B3.1 phases=1 kV=0.127 kW=2000 kvar=640 model=1  
conn=wye
```

```
new load.CARGAb bus1=B3.2 phases=1 kV=0.127 kW=1000 kvar=330 model=1  
conn=wye
```

```
new load.CARGAc bus1=B3.3 phases=1 kV=0.127 kW=1500 kvar=540 model=1  
conn=wye
```

```
!! Capacitor
new Capacitor.Cp bus1=B2 phases=3 kV=13.8 kvar=5000

set voltagebases=[138 13.8 0.22]

calcVoltageBases

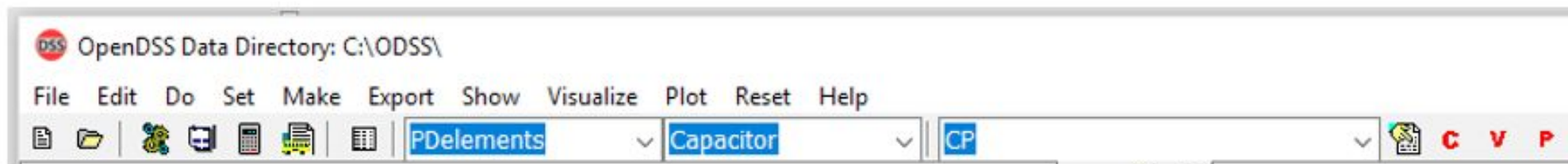
set controlmode=static

set mode=snapshot

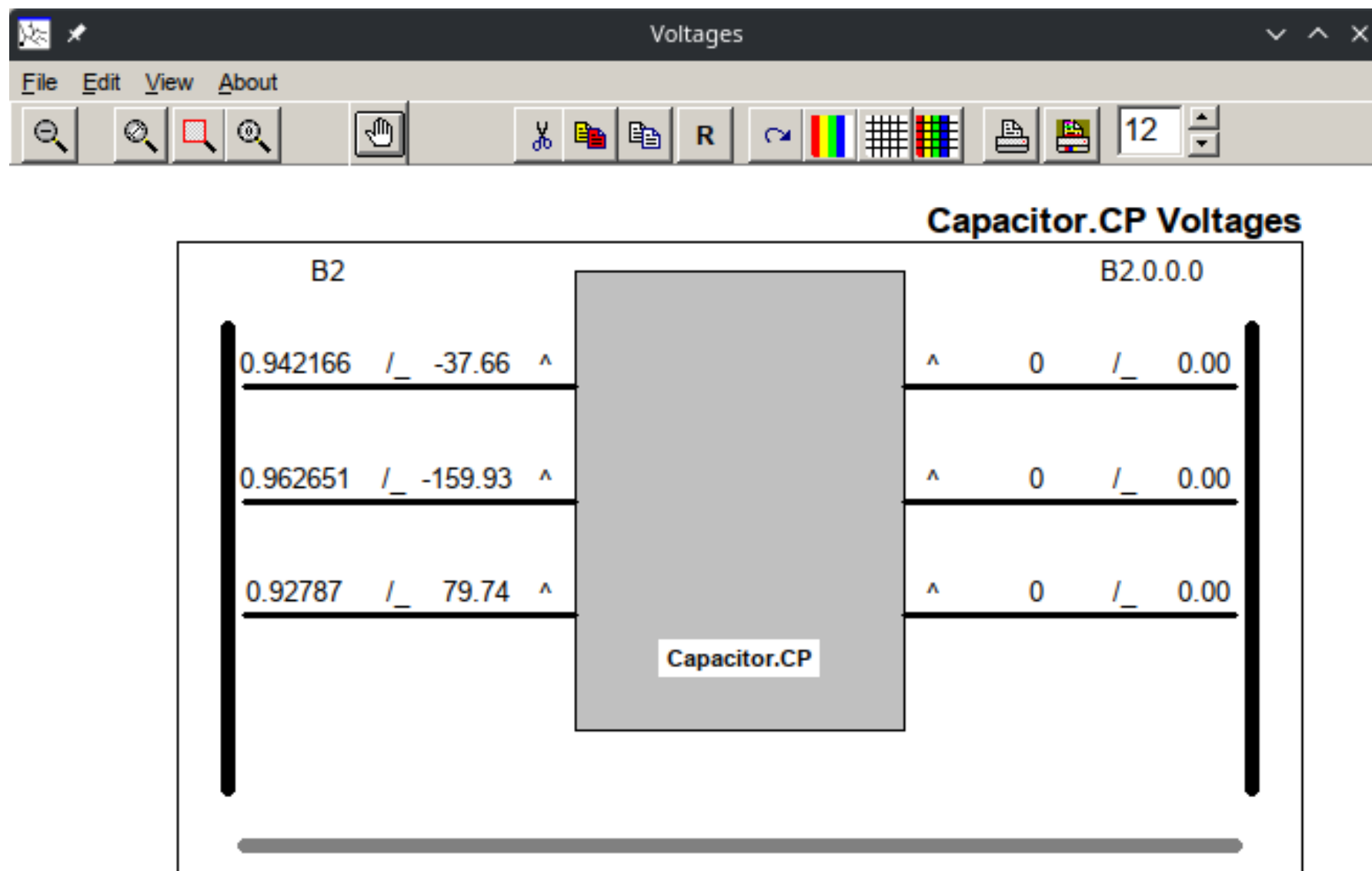
solve
```



- Uma vez que a simulação foi realizada, os resultados são armazenados e podem ser acessados por meio de comandos na barra de ferramentas
- Por exemplo, os resultados de tensão nas barras, fluxos de correntes e fluxos de potência podem ser extraídos para cada componente, selecionando:

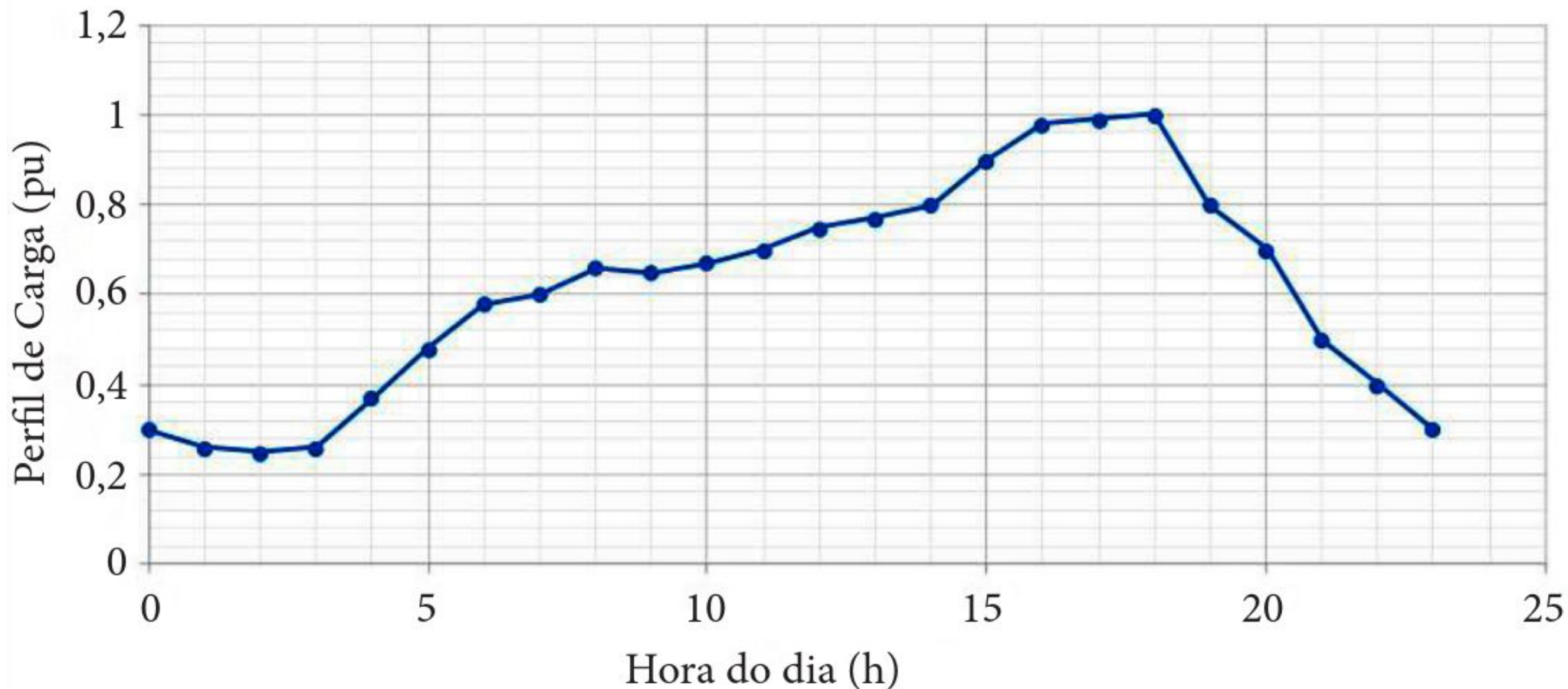


- Os ícones ao lado denotados por C, V e P permitem obter as correntes tensões e fluxos nos elementos



Selecionando PDelements > Capacitor > V,  
obtemos este gráfico para as tensões no capacitor

# Simulação dinâmica (p. 95)



- Gráfico de um sistema de distribuição - valores normalizados de carga para compor o perfil dinâmico

- O valor de carga indicado no **slide 11** corresponde à demanda máxima no período de um dia
- Analise o perfil de tensão nesta carga durante um dia completo
- O gráfico do slide anterior mostra os valores normalizados de carga para compor o perfil dinâmico

# Resolução

- Para poder simular o perfil desejado deve-se utilizar o comando “new Loadshape” e atrelar a carga a esse perfil:

```
!!Loadshape
```

```
new loadshape.DIA npts=24 interval=1
```

```
mult=(0.3 0.26 0.25 0.26 0.37 0.48 0.58 0.6 0.66 0.65 0.67 0.7 0.75 0.77 0.8 0.9 0.98 0.99  
1 0.8 0.7 0.5 0.4 0.3)
```

```
!! Carga
```

```
new load.CARGAa bus1=B3.1 phases=1 kV=0.127 kW=2000 kvar=640 model=1  
conn=wye daily=DIA
```

```
new load.CARGAb bus1=B3.2 phases=1 kV=0.127 kW=1000 kvar=330 model=1  
conn=wye daily=DIA
```

```
new load.CARGAc bus1=B3.3 phases=1 kV=0.127 kW=1500 kvar=540 model=1  
conn=wye daily=DIA
```

- Também devem ser ajustados outros modos de simulação:

```
set controlmode=dynamic  
set mode=daily  
set stepsize =1  
set number = 24  
solve
```

- Desta forma, os valores da carga serão multiplicados pelos fatores e a simulação será realizada para cada um dos intervalos