

SIEEL - Semana de Integração da Engenharia Elétrica

## Minicurso ANAREDE

João Pedro Peters Barbosa, MSc

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo  
São Carlos - SP, Brasil

Outubro de 2024

# Sumário

- 1 Apresentação Pessoal
- 2 Sistemas Elétricos de Potência e o CEPEL
- 3 O ANAREDE

# Sumário

- 1 Apresentação Pessoal
- 2 Sistemas Elétricos de Potência e o CEPEL
- 3 O ANAREDE



- **EESC/USP:** Doutorado (atualmente)
  - Prof. Rodrigo Andrade Ramos
- **UFJF:** Graduação ('21) e Mestrado ('23)
  - Prof. João Alberto Passos Filho (ex-desenvolvedor ANAREDE)
- **Pesquisa:**
  - Estabilidade;
  - Segurança;
  - Modelagem;
  - Entre outros.



# Sumário

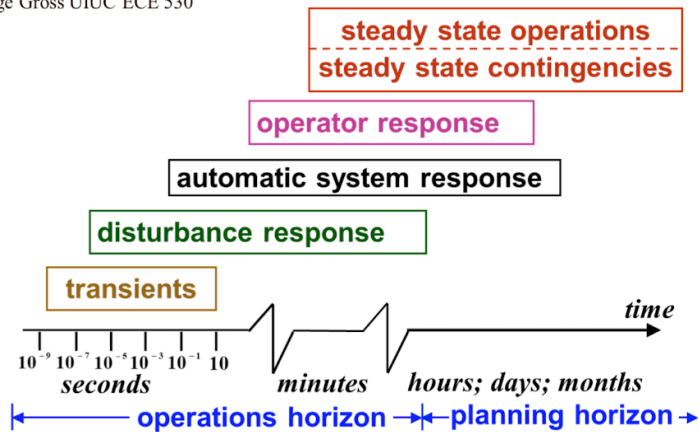
1 Apresentação Pessoal

2 Sistemas Elétricos de Potência e o CEPEL

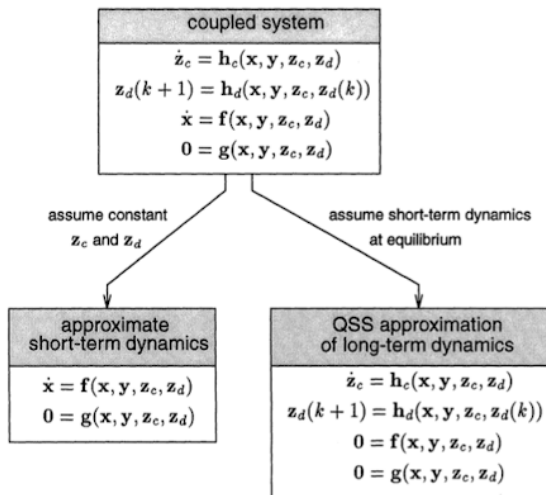
3 O ANAREDE

- Sistemas Elétricos de Potência são sistemas dinâmicos sujeitos a fenômenos em diferentes escalas de tempo

Slide source: Prof. George Gross UIUC ECE 530



- Sistemas Elétricos de Potência são sistemas dinâmicos sujeitos a fenômenos em diferentes escalas de tempo
- A operação de um Sistema Elétrico de Potência é complexa!!
  - Transitório Eletromagnético ( $10^{-3}$  s);
  - Transitório Eletromecânico ( $10^{-1}$  s);
  - Atuação de Regulador de Velocidade (1 s);
  - Controle de Carga-Frequência-Intercâmbio ( $10^1$  s até  $10^2$  s);
  - Redespacho Econômico/Seguro ( $10^4$  s);
  - Planejamento da Operação (1 semana ou 1 mês);
  - Planejamento da Expansão (5 a 20 anos).
- Os programas computacionais são úteis para ajudar a analisar sistemas de potência.



Fonte: Voltage Stability of Electric Power Systems.

- CEPEL-Eletróbras (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica):
  - Sede na cidade do Rio de Janeiro - RJ

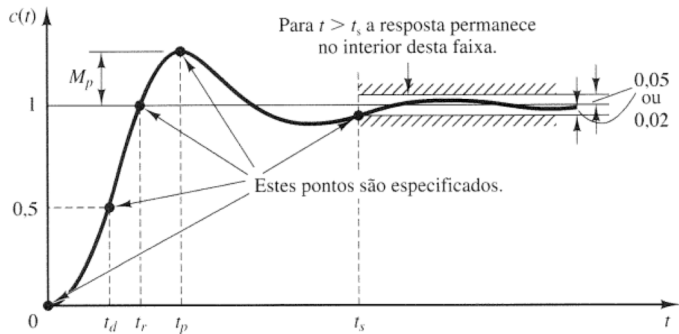


- CEPEL-Eletróbás (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica):
  - Sede na cidade do Rio de Janeiro - RJ
  
- Desenvolve um acervo próprio de metodologias e programas computacionais para dar suporte às diversas necessidades do sistema elétrico brasileiro:
  - Análise de Redes Elétricas:
    - ANAFAS, AnaHVDC, **ANAREDE**, ANATEM, FLUPOT, HarmZs, PacDyn, SIGER
  - Automação de Sistemas:
    - SAGE, SAGE-EMS, SAGE-PDC, SINAPE.Net, TOPSIM
  - Gestão de Ativos:
    - CAMPEM\_LT, CONWEIB, DianE, ELEKTRA, IMA DP, SOMA
  - Otimização Energética:
    - ANAFIN, CHEIAS, DECOMP, DESSEM, GEVAZP, Libs, MELP, MATRIZ, SUISHI, NEWAVE, CONFINT, PREVIVAZ, VENTOS, ECOMERC
  - Renováveis e Sustentabilidade:
    - AMBIENTRANS, ATLAS EÓLICO, IGS, SINV, EMISFERA, LCOH

# Sumário

- 1 Apresentação Pessoal
- 2 Sistemas Elétricos de Potência e o CEPEL
- 3 O ANAREDE

- Programa computacional para cálculo de Fluxo de Potência (Fluxo de Carga):
  - O problema de Fluxo de Potência (Fluxo de Carga) consiste em encontrar o ponto de **estado estacionário (ou regime permanente) de operação** de um Sistema Elétrico de Potência;

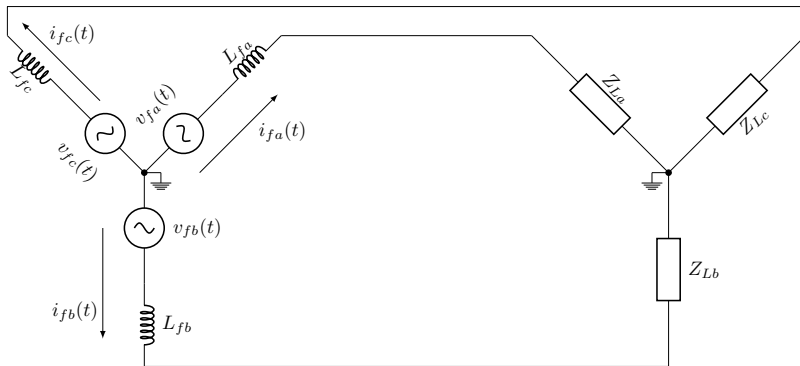




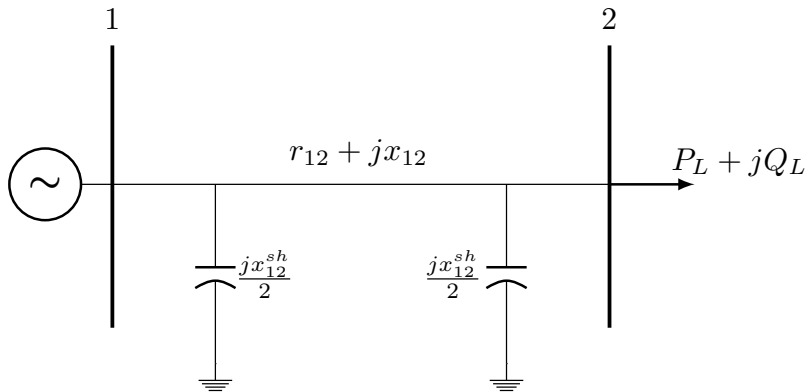
- É a ferramenta mais frequentemente utilizada nos vários estudos feitos em Sistemas Elétricos de Potência:
  - MME, ONS, EPE, Agentes da geração e transmissão do SIN utilizam em seus estudos;
  - Equivalente de Redes;
  - Análise de Contingências;
  - Análise de Sensibilidade de Tensão;
  - Análise de Sensibilidade de Fluxo;
  - Fluxo de Potência Continuado;
  - Análise de Corredores de Recomposição;
  - Cálculo Automático de Margem de Transmissão;
  - Avaliação de Segurança Estática.

- **Premissas adotadas na formulação de Fluxo de Potência:**

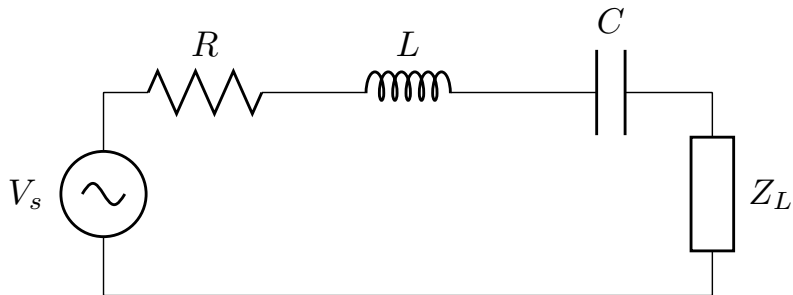
- Nível de carregamento (carga ou “mercado” do sistema);
- Despacho de geração ativa (barras do tipo PV);
- Topologia do sistema;
- Parâmetros de rede:
  - Componentes ligados entre nó (barramento) e terra (geradores, cargas, capacitores, reatores, etc.);
  - Componentes ligados entre dois barramentos (linhas de transmissão, transformadores, etc.);
- Sistema **balanceado e simétrico**.

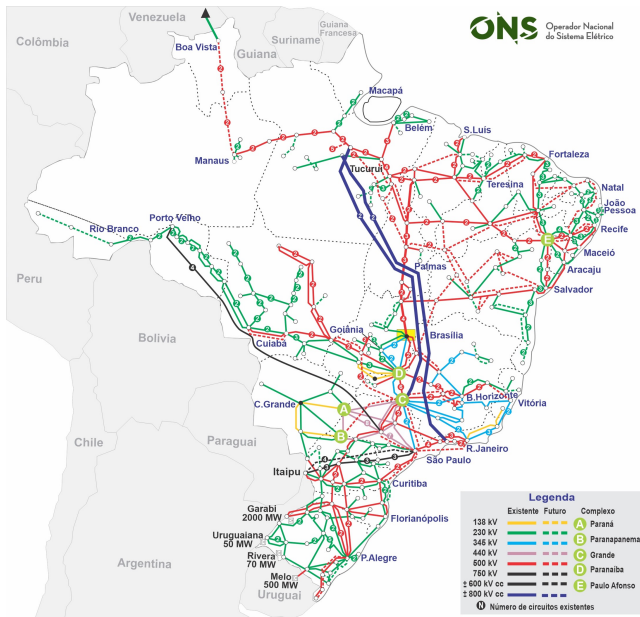






- Solução do Fluxo de Potência:
  - Adoção de métodos numéricos:
    - Newton-Raphson, Gauss-Seidel, Holomórfico, etc;
  
- Consiste no cálculo das **tensões nodais em módulo e fase**, e dos **fluxos de potência ativa e reativa** em sistemas de **transmissão**:







- Solução do Fluxo de Potência:
  - Adoção de métodos numéricos:
    - Newton-Raphson, Gauss-Seidel, Holomórfico, etc;
  - Consiste no cálculo das **tensões nodais em módulo e fase**, e dos **fluxos de potência ativa e reativa** em sistemas de **transmissão**:
    - Diferenciação por tipo de barra:  $V\theta$ , PV e PQ;
  - Modelo estático do Sistema Elétrico de Potência:
    - Solução de equações algébricas não-lineares e inequações;



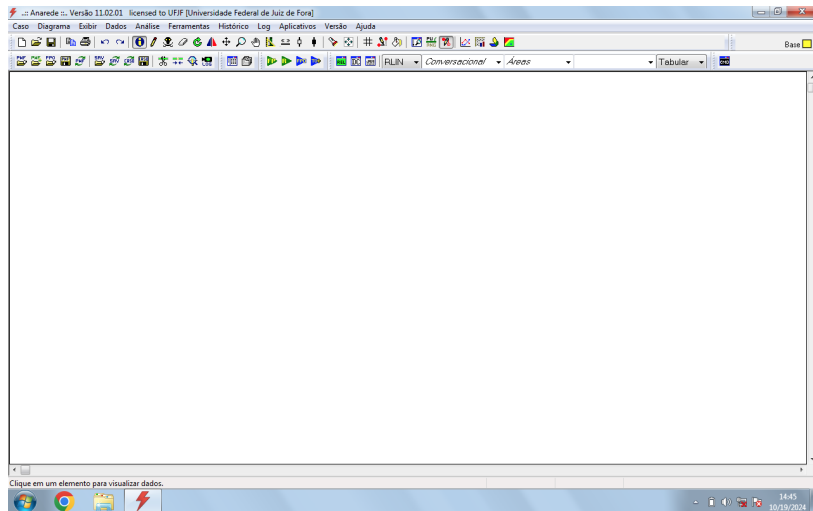
ANAREDE



EditCepel



ANAREDE



ANAREDE



ANAREDE



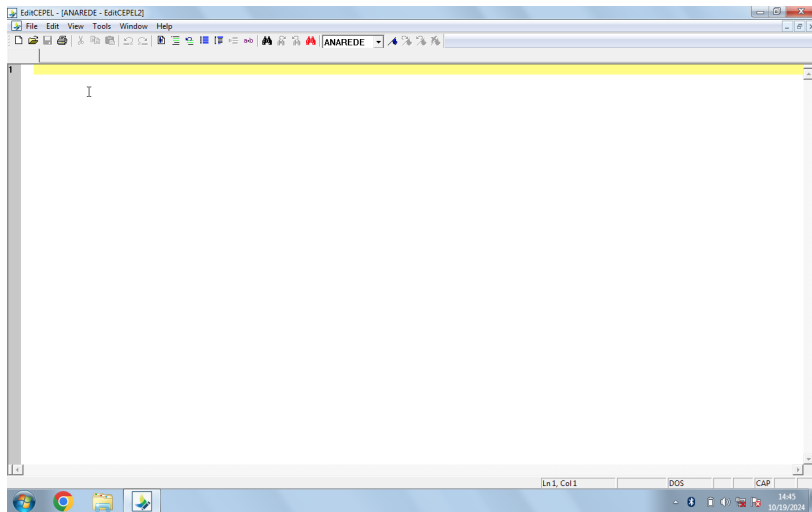
Programa de Análise de Redes  
V11.07.02

**Manual do Usuário**

Fluxo de Potência  
Equivalente de Redes  
Análise de Contingências  
Análise de Sensibilidade de Tensão  
Análise de Sensibilidade de Fluxo  
Fluxo de Potência Continuado  
Definição das Redes Complementar e Simulação  
Recomposição de Sistemas Elétricos de Potência  
Avaliação de Região de Segurança Estática e Dinâmica  
Cálculo Automático de Margem de Transmissão

DSE  
Departamento de Sistemas Eletroenergéticos

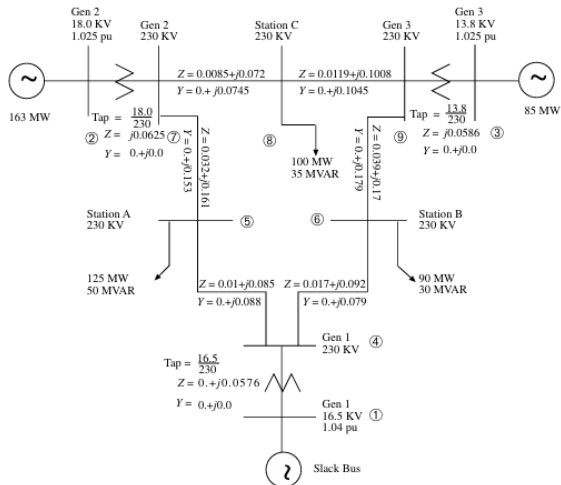
Dezembro - 2023



EditCepel

EditCepel

# Exemplo Prático



# Título

TITU  
SISTEMA WECC 3-MACHINE 9-BUS

# Dados de Opções de Execução Padrão

```

DOPC
(Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E
NEWT L
BPSI D
QLIM L CTAP D CREM D
MOCT L MOCG L MOCF L
RMON L RBAR L RLIN D RGER D
99999
  
```



# Dados de Constantes

```

DCTE
(Mn) ( Val) (Mn) ( Val) (Mn) ( Val) (Mn) ( Val) (Mn) ( Val) (Mn) ( Val)
BASE      100
ACIT  99999  TEPA      1E-6  TEPR      1E-6  QLST      1E-6
ICIT  99999  DMAX  99999  FDIV      2  ICMN      1E-6
99999

```

# Dados de Barras CA

DBAR

(Num)	OETGb	( nome	) Gl	( V)	( A)	( Pg)	( Qg)	( Qn)	( Qm)	(Bc	)	( Pl)	( Ql)	( Sh)	Are	(Vf)	M	(1)	(2)
1	L2B	Barra 1	11040	0.142	510.88	-130.130.4									11000				
2	L1C	Barra 2	11025	-1.8	163.	-2.59	-101.101.2			7					21000				
3	L1A	Barra 3	11025	-1.4	85.	-13.7	-67.4	67.4		9					31000				
4	L0D	Barra 4	11072	-4.1											41000				
5	L0D	Barra 5	11050	-7.7							125.	50.			41000				
6	L0D	Barra 6	11065	-6.7							90.	30.			41000				
7	L0D	Barra 7	11078	-4.6											41000				
8	L0D	Barra 8	11069	-6.3							100.	35.			41000				
9	L0D	Barra 9	11083	-3.9											41000				

99999

# Dados de Circuitos CA

DLIN

(De )	d 0	d(Pa )	Nc	EPM	( R% )	( X% )	(Mvar)	(Tap)	(Tmn)	(Tmx)	(Phs)	(Bc )	(Cn)	(Ce)	Ns	(Cq)	(1)	(2)	(3)
1			4	1	T	0.	5.76			1.0			250	250					
2			7	1	T	0.	6.25			1.0			200	200					
3			9	1	T	0.	5.86			1.0			300	300					
4			5	1	T	1.	8.5	17.6					300	300					
4			6	1	T	1.7	9.2	15.8					200	200					
6			9	1	T	3.9	17.	35.8					200	200					
7			5	1	T	3.2	16.1	30.6					300	300					
7			8	1	T	.85	7.2	14.9					300	300					
8			9	1	T	1.19	10.08	20.9					300	300					

99999

# Informações Extras

## Dados Complementares de Geração CA em DBAR

DGER

(No )	0	(Pmn )	(Pmx )	( Fp)	(FpR)	(FPn)	(Fa)	(Fr)	(Ag)	( Xq)	(Sno)
1		0.	210.4	44.9							
2		0.	163.2	28.3							
3		0.	108.8	26.8							

99999

## Dados de Área Elétrica

DARE

(Ar	(Xchg)	(	Identificacao da area	)	(Xmin)	(Xmax)
1	0.		Area 1			
2	0.		Area 2			
3	0.		Area 3			
4	0.		Area 4			

99999

# Informações Extras

## Dados de Grupo Limite de Tensão

DGLT

(G (Vmn) (Vmx) (Vmne (Vmxe

1 .9 1.1 .9 1.1

99999

## Dados de Grupo Base de Tensão

DGBT

(G ( kV)

A 13.8

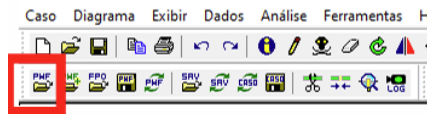
B 16.5

C 18

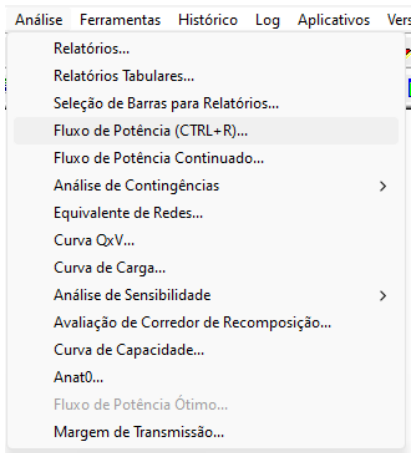
D 230

99999

# Como abrir um arquivo no ANAREDE?



# Como rodar o Fluxo de Potência no ANAREDE?



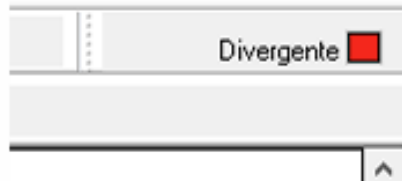
# Exemplo Prático - Convergência

	Bus #	Voltage (pu)	$P_G$ (pu)	$Q_G$ (pu)	$-P_L$ (pu)	$-Q_L$ (pu)
1	(swing)	1.04	0.716	0.27	—	—
2	(P-V)	$1.025 \angle 9.3^\circ$	1.63	0.067	—	—
3	(P-V)	$1.025 \angle 4.7^\circ$	0.85	-0.109	—	—
4	(P-Q)	$1.026 \angle -2.2^\circ$	—	—	—	—
5	(")	$0.996 \angle -4.0^\circ$	—	—	1.25	0.5
6	(")	$1.013 \angle -3.7^\circ$	—	—	0.9	0.3
7	(")	$1.026 \angle 3.7^\circ$	—	—	—	—
8	(")	$1.016 \angle 0.7^\circ$	—	—	1.00	0.35
9	(")	$1.032 \angle 2.0^\circ$	—	—	—	—

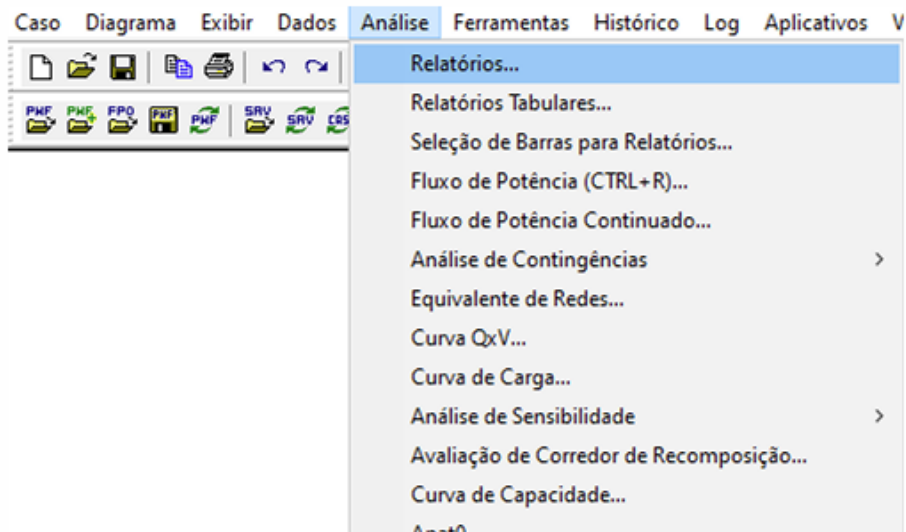
Figure 1: Relatório de Barras



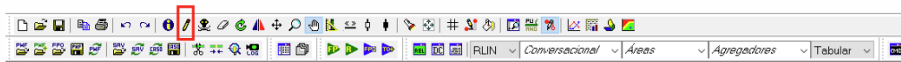
# Como saber se a simulação rodou?



# Como obter os relatórios do resultado final?



# Como desenhar a topologia do sistema?



- Clicar 2x com o botão esquerdo para desenhar barras;
- Clicar com o botão direito em cima das barras para desenhar os circuitos.

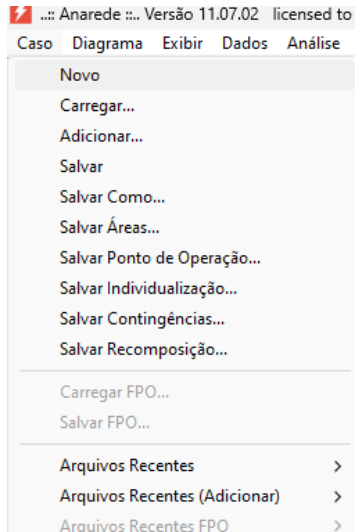
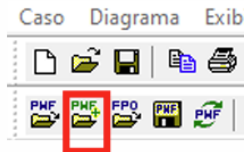
# PWF de Alteração

- Se você tem um pwf muito grande e quer alterar um único pedaço, você não precisa procurar esse pedaço no pwf original. Você pode criar um novo pwf apenas com a alteração que você quer e colocar como pwf adicional;
- É uma forma prática de fazer testes e alterar casos sem mexer no arquivo original.

# Dados de Alteração do Nível de Carregamento

```
DANC
(Ar ( Fp ) ( Fq ) ( Fs )
  1   10.   10.
99999
```

# PWF de Alteração



# Fluxo de Potência Continuado

## Dados de Incremento de Carga para o Fluxo de Potência Continuado

```

DINC
(tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) 0 ( P ) ( Q ) (Pmx) (Qmx)
AREA      1 A AREA      4                      1.      1.
(AREA      4                      1.      1.
(BARR      5                      1.      1.
(AREA      4                      X BARR      5      1.      1.
99999
  
```

## Dados de Monitoração de Estabilidade de Tensão, Curva de Carga e Curva de Capacidade de Geração

```

DMET
(tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) C (tp) (no ) 0
AREA      1 A AREA      4
99999
  
```

# Contingências

## Dados de Contingências Programadas

DCTG

(Nc) 0 Pr ( IDENTIFICACAO DA CONTINGENCIA )

1 1 CTG DE 4 PARA 5 CIRC 1

(Tp) (El ) (Pa ) Nc (Ext) (DV1) (DV2) (DV3) (DV4) (DV5) (DV6) (DV7)

CIRC 4 5 1

FCAS

(Nc) 0 Pr ( IDENTIFICACAO DA CONTINGENCIA )

2 1 CTG DE 4 PARA 6 CIRC 1

(Tp) (El ) (Pa ) Nc (Ext) (DV1) (DV2) (DV3) (DV4) (DV5) (DV6) (DV7)

CIRC 4 6 1

FCAS

(Nc) 0 Pr ( IDENTIFICACAO DA CONTINGENCIA )

3 2 CTG DE 6 PARA 9 CIRC 1

(Tp) (El ) (Pa ) Nc (Ext) (DV1) (DV2) (DV3) (DV4) (DV5) (DV6) (DV7)

CIRC 6 9 1

FCAS

99999



# Arquivos Históricos

- São arquivos tipo binários;
- É como se fosse uma “pasta” cheia de PWFs. Podemos organizar tudo em um arquivo só;
- Para criar um arquivo histórico .SAV ou .HIS:
  - 1 O caso simulado tem que estar convergido;
  - 2 Dar nome pro seu arquivo e clicar em abrir;
  - 3 Escolher a posição em que vai ser salvo e alterar título do caso.



# Observações

- **Manual do ANAREDE:** normalmente está na pasta C:/CEPEL/Anarede/versão/manuais. Está com dúvida em um código de execução específico? Procure no PDF código de execução “DBAR” por exemplo, tem tudo lá!!;
- Use a régua no EditCepel para não passar os dados nas colunas erradas;
- Procure pela pasta de Exemplos, normalmente em:  
C:/CEPEL/Anarede/versão\_do\_ANAREDE/Exemplos;
- Há opções de execução automática diretamente pelo arquivo .PWF.

# Agradecimentos

Perguntas?

João Pedro Peters Barbosa  
[jpeters@usp.br](mailto:jpeters@usp.br)