

# Fornecimento de Energia Elétrica

## Eletrotécnica Geral

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas  
Escola Politécnica da USP

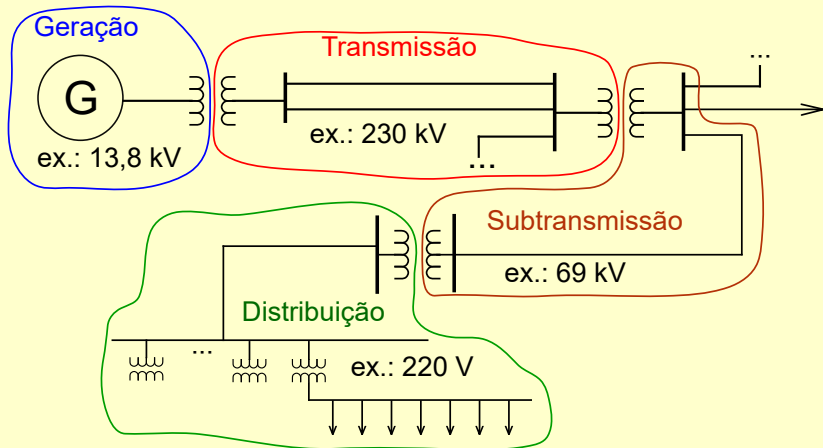
26 de março de 2019

# Tópicos

- Análise da constituição de sistemas de potência
- Legislação para fornecimento de energia elétrica
- Padrões de fornecimento das concessionárias
- Esquemas de aterramento
- Tarifação de energia

# G, T, D

- Geração - Conversão da energia em elétrica a partir de diversas fontes
- Transmissão - Transporte da energia dos centros de produção até os centros de consumo
  - Subtransmissão - Conecta o sistema de transmissão a grandes consumidores e a subestações de distribuição
- Distribuição - Entrega aos consumidores da energia vinda do sistema de transmissão
  - Circuitos primários/secundários [do transformador de distribuição]



## Padronização de tensões

- Transmissão e subtransmissão
  - 750 kV; 500 kV; 230 kV; 138 kV; 69 kV; 34,5 kV; 13,8 kV
  - Decreto presidencial 73080/1973
- Distribuição primária
  - 34,5 kV; 13,8 kV
  - Decreto presidencial 73080/1973
- Distribuição secundária
  - Trifásica: 380/220 V; 220/127 V
  - Monofásica: 440/220 V; 254/127 V
  - Decreto presidencial 97280/1988

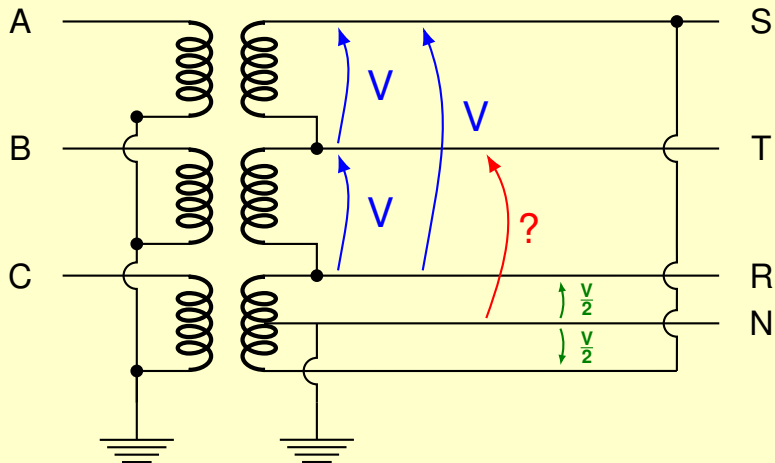
## Diretrizes da distribuição

- Resolução Normativa ANEEL 414/2010
  - Definição de serviços essenciais, tensões de fornecimento, ponto de entrega, solicitação de fornecimento (ligação), tarifação, grupos tarifários, classes de consumo, inadimplência, distúrbios, cortes, religamento, ouvidoria etc
- PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, elaborados pela ANEEL

## Normas técnicas de fornecimento

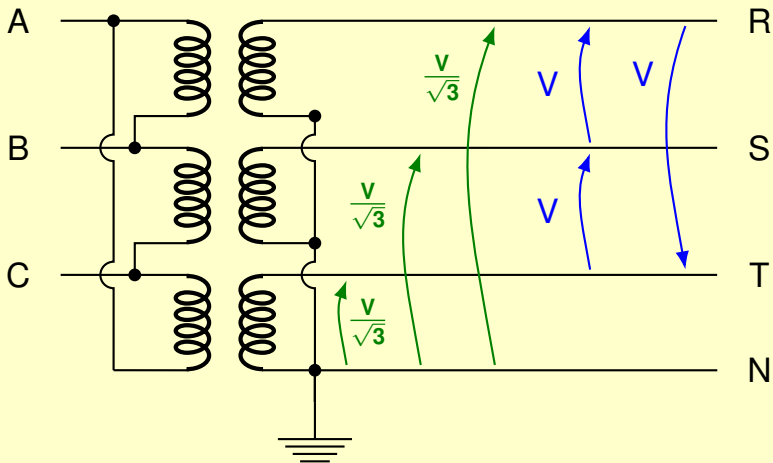
- **Específicas** das concessionárias, definem:
  - Tensões de fornecimento disponíveis
  - Modalidade de fornecimento e critérios / limites de demanda instalada
    - Monofásica: 2 condutores (fase + neutro)
    - Bifásica: 3 condutores (2 fases + neutro)
    - Trifásica: 4 condutores (3 fases + neutro)
  - Padrões de entrada

## Fornecimento em delta com neutro

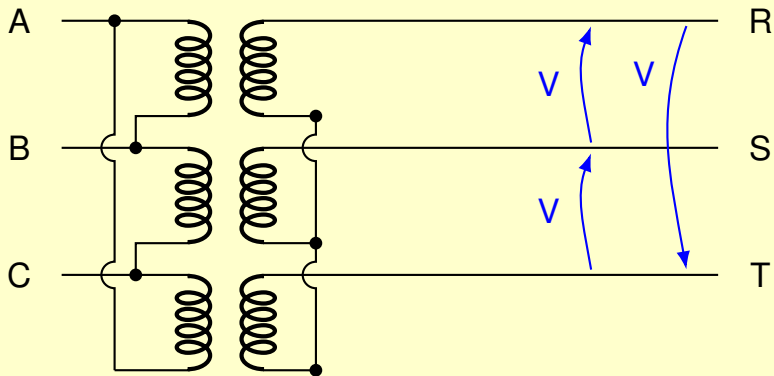




## Fornecimento em estrela com neutro

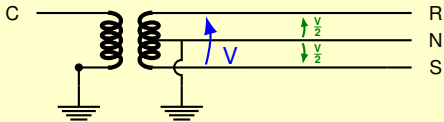


## Fornecimento em estrela sem neutro



## Delta com neutro – instalação gradativa de transformadores monofásicos

- monofásico com tap central



Potência aparente máxima (\*):

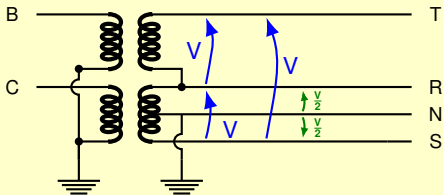
Com um transformador:

$$P_{max} = V_{nom} \cdot I_{nom}$$

(\*) Considerando  $V_{nom}$  e  $I_{nom}$  do secundário de cada transformador monofásico.

## Delta com neutro – instalação gradativa de transformadores monofásicos

- monofásico com tap central
- delta aberto



Potência aparente máxima (\*):

Com dois transformadores:

$$P_{max} = \sqrt{3} V_{nom} \cdot I_{nom}$$

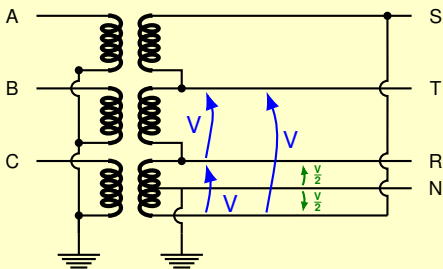
Com um transformador:

$$P_{max} = V_{nom} \cdot I_{nom}$$

(\*) Considerando  $V_{nom}$  e  $I_{nom}$  do secundário de cada transformador monofásico.

## Delta com neutro – instalação gradativa de transformadores monofásicos

- monofásico com tap central
- delta aberto
- delta com neutro



Potência aparente máxima (\*):

Com três transformadores:

$$P_{max} = \sqrt{3}V_{nom} \cdot \sqrt{3}I_{nom}$$

$$P_{max} = 3V_{nom} \cdot I_{nom}$$

Com dois transformadores:

$$P_{max} = \sqrt{3}V_{nom} \cdot I_{nom}$$

Com um transformador:

$$P_{max} = V_{nom} \cdot I_{nom}$$

(\*) Considerando  $V_{nom}$  e  $I_{nom}$  do secundário de cada transformador monofásico.

## Exemplos de normas técnicas de concessionárias

### Ligações de fornecimento e limites de demanda

Enel Distribuição SP (documento da AES Eletropaulo, 12a. ed., 2014)

- Monofásico:  $\leq 12$  kW no sistema estrela;  $\leq 5$  kW no sistema delta;
- Bifásico:  $\leq 20$  kW no sistema estrela aéreo ou subterrâneo;  $> 5$  kW no sistema delta;
- Trifásico:  $> 20$  kW no sistema estrela; no sistema delta, se houver aparelhos trifásicos.

## Exemplos de normas técnicas de concessionárias (cont.)

### Ligações de fornecimento e limites de demanda

Energisa, estados da PB, MG, MS, MT, RJ, SE, TO (ver. 5.1, dez/2017)

- Monofásico:

- 127 V: demanda instalada  $\leq 8,8$  kW
- 220 V: demanda  $\leq 15,40$  kW
- exceção: motores monofásicos perfazendo mais que 2 cv ou máquina de solda a transformador com potência  $> 2$  kVA;

- Bifásico:

- 220 V / 127 V: demanda instalada  $\leq 17,7$  kW
- 380 / 220 V: demanda  $\leq 22$  kW

## Exemplos de normas técnicas de concessionárias (cont.)

### Ligações de fornecimento e limites de demanda

- exceção: motores monofásicos em 220 V perfazendo mais que 5 cv ou máquina de solda a transformador em 220 V com potência > 8 kW (sic);
- Trifásico:
  - 220 V / 127 V ou 380/220 V: demanda provável  $\leq 69$  kW
  - exceção: motores perfazendo mais que 30 cv e alguns tipos de máquina de solda.

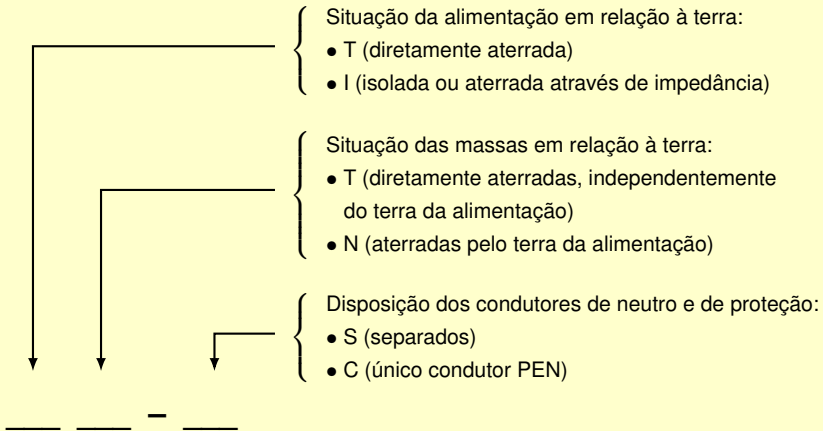


## Potência instalada e demanda

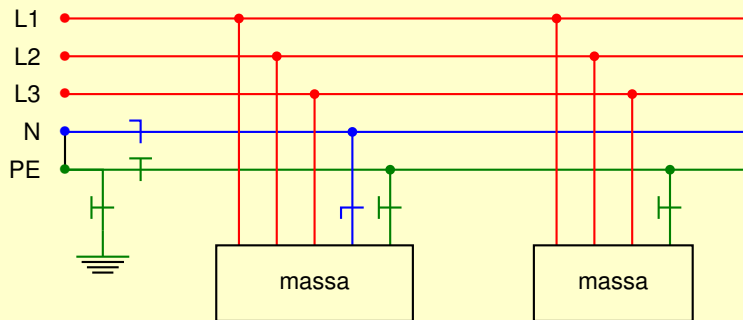
- Potência instalada: soma das potências individuais de aparelhos e previsões para tomadas elétricas
- Demanda: (potência instalada) x (fator de demanda)
- Fator de demanda inclui a diversidade do uso

# Esquemas de aterramento

## Referência de tensão, segurança

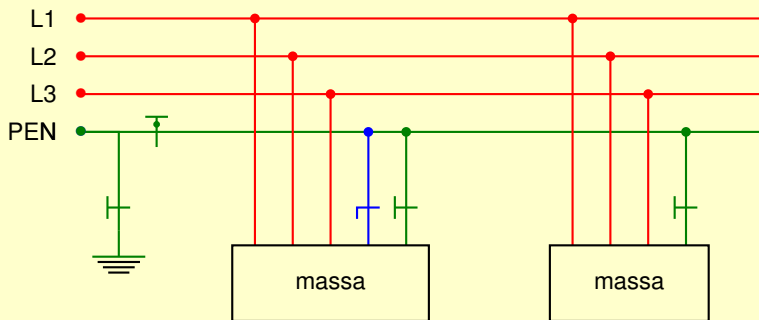


## Esquema TN-S



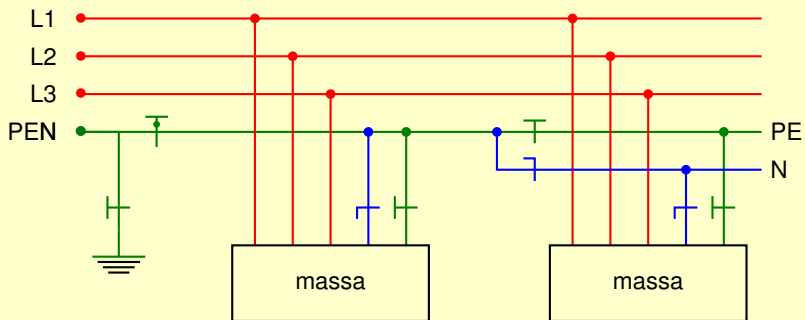
Nesse esquema, a proteção pode ser realizada por disjuntor termomagnético e por disjuntor diferencial-residual (DR)

## Esquema TN-C

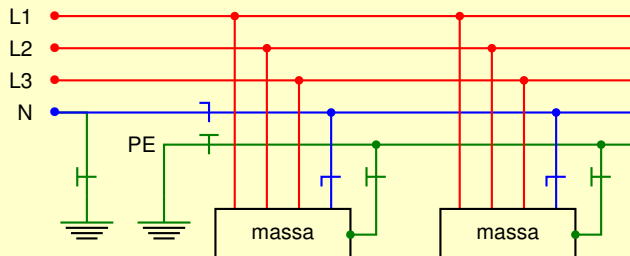


Nesse esquema, a proteção pode ser realizada apenas por disjuntor termomagnético

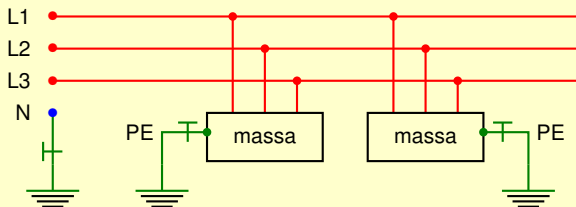
# Esquema TN-C-S



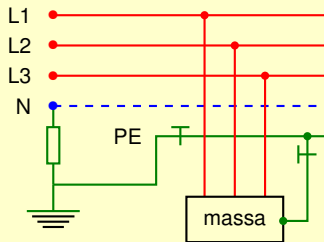
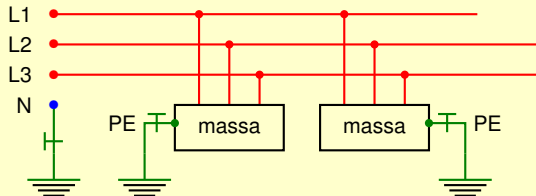
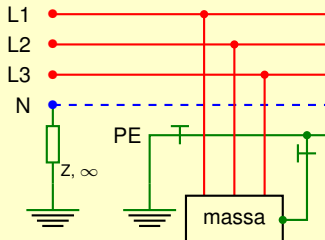
# Esquemas TT



Nesses esquemas,  
é obrigatório o uso  
de disjuntores DR



# Esquemas IT



# Tarifação de consumo e demanda

## Custos operacionais e de investimento

- O sistema de tarifação adotado deve contemplar os seguintes custos:
  - Operacionais: custos fixos e de combustível associados à entrega da energia contratada; e
  - De atendimento à demanda máxima: investimento em ampliação da rede, de acordo com a especificação da máxima solicitação.
- Tarifas de demanda – R\$/kW
- Tarifas de consumo – R\$/MWh



## Grupos de consumidores

Fonte: REN ANEEL 414/2010, versão acessada em 03/02/2019

### Grupo A, tarifa binômia

Subgrupo	Tensão
A1	$V \geq 230 \text{ kV}$
A2	$88 \text{ kV} \leq V \leq 138 \text{ kV}$
A3	69 kV
A3a	$30 \text{ kV} \leq V \leq 44 \text{ kV}$
A4	$2,3 \text{ kV} \leq V \leq 25 \text{ kV}$
AS	$V < 2,3 \text{ kV} (*)$

(\*) A partir de sistema subterrâneo de distribuição

## Grupos de consumidores (cont.)

Fonte: REN ANEEL 414/2010, versão acessada em 03/02/2019

### Grupo B, tarifa monômnia

- tensão < 2,3 kV;
- subgrupo B1: residencial (que inclui subclasses de baixa renda);
- subgrupo B2: rural;
- subgrupo B3: demais classes;
- subgrupo B4: iluminação pública.

## Classes de consumidores

Pode haver redução em relação às tarifas homologadas pela ANEEL

- Residencial;
  - baixa renda, baixa renda indígena, baixa renda quilombola, benefício de prestação continuada da assistência social, multifamiliar (compartilhamento de medidor)
- Industrial;
- Comércio, serviços e outras atividades;
- Rural;
- Poder público;
- Iluminação pública;
- Serviço público;
- Consumo próprio.

## Postos tarifários

- Ponta: período de três horas, definido pela distribuidora. Não considera sábados, domingos e feriados nacionais
- Intermediário (apenas para tarifa branca): períodos de uma hora antes e uma hora depois do horário de ponta
- Fora de ponta: todas as horas restantes
- Exemplos de horários de ponta adotados por concessionárias
  - Enel SP - ponta: 17h30-20h29 (no horário de verão: 18h30-21h29)
  - CPFL Piratininga - ponta: 18h-20h59 (no horário de verão: 19h-21h59)

## Modalidades tarifárias, grupo A

- tarifa azul: duas tarifas de consumo (R\$/kWh) e duas tarifas de demanda (R\$/kW), de acordo com o posto horário (horas de ponta / fora-de-ponta)
- tarifa verde: duas tarifas de consumo (R\$/kWh), de acordo com o posto horário e uma tarifa de demanda (R\$/kW)
- tarifa binômia (em extinção para o grupo A): uma tarifa de consumo (R\$/kWh) e uma tarifa de demanda (R\$/kW)

## Grupo A: Demanda medida, contratada, ultrapassagem

- a demanda é medida a partir da energia integralizada em intervalos de 15 minutos
- valores máximos ponta e fora-de-ponta no período de faturamento (~mês)
- demanda contratada: valor mínimo a ser cobrado do consumidor
- cobrança por ultrapassagem : se a demanda for maior que 5% acima da contratada para o posto horário
- aplica-se o dobro da tarifa de demanda para o montante que ultrapasse a demanda contratada

## Grupo A: Cobrança por excedente de reativos (multa por baixo f.p.)

- consumo reativo excedente, proporcional a  $(\frac{0,92}{fp} - 1)$ 
  - em um período de seis horas consecutivas, definidos entre 23h30 e 6h30, o limite é 0,92 capacitivo
  - no período complementar ao anterior, o limite é 0,92 indutivo
- integralizado em intervalos de uma hora
- também há cobrança de demanda reativa excedente, caso o fator de potência seja inferior ao estabelecido

## Expressões para faturamento de reativos (Res. 414/2010 - ANEEL)

- Excedente de reativos ("UFER: unidade de faturamento de excedente de reativos")

$$E_{RE} = \sum \left[ E_{med,T} \left( \frac{0,92}{fp,T} - 1 \right) \right] \times tarifa_{reat}$$

- Demanda excedente de reativos ("DMCR: Demanda máxima corrigida")

$$D_{RE} = \left[ \max \left( Dat_{med,T} \frac{0,92}{fp,T} \right) - Dat, \text{faturável} \right] \times tarifa_{demanda,reat}$$

- $E_{med,T}$  : energia ativa medida no(s) intervalo(s) T em que f.p. < 0,92
- $Dat_{med,T}$ ,  $Dat$ , faturável : demanda medida e faturável (medida, contratada ou ultrapassagem) no(s) intervalo(s) T em que f.p. < 0,92
- $fp, T$  : fator de potência medido nos intervalos T em que f.p. < 0,92



## Modalidades tarifárias, grupo B

- tarifa convencional monômia: apenas uma tarifa de consumo
- tarifa branca: três tarifas de consumo, de acordo com os três postos horários possíveis
  - obs1: não aplicável ao subgrupo B4 e às subclasses Baixa Renda do subgrupo B1
  - obs2: o consumidor só se enquadra na tarifa branca se fizer esta opção de forma espontânea

Fonte: <http://www.aneel.gov.br>

## Bandeira tarifárias

Definem se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade.

- Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo;
- Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis;
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração;
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração.
- Aplicadas a todos os consumidores cativos das distribuidoras, exceto aqueles localizados em sistemas isolados;
- Divulgação da bandeira para o mês seguinte, bem como os valores aplicáveis, são disponibilizados no site da ANEEL.

## Tarifa de uso do sistema de distribuição - TUSD

- cobrada pelo uso do sistema de distribuição
- em R\$/MWh ou em R\$/kW
- aplicada a todos os consumidores, com redução para algumas subclasses

## Exemplo de cálculo de conta de energia do grupo A

Sem considerar impostos e encargos

### Tarifas

Consumo ponta	R\$0,32/kWh
Consumo fora-de-ponta	R\$0,20/kWh
Demanda ponta	R\$8,00/kW
Demanda fora-de-ponta	R\$5,00/kW
Ultrapassagem de demanda ponta	R\$16,00/kW
Ultrapassagem de demanda fora-de-ponta	R\$10,00/kW
Excedente de reativo ponta	R\$0,24/kWh
Excedente de reativo fora-de-ponta	R\$0,24/kWh
Demanda de reativo ponta	R\$8,00/kW
Demanda de reativo fora-de-ponta	R\$5,00/kW
Acréscimo bandeira amarela	R\$ 0,01/kWh
Acréscimo bandeira vermelha, patamar 1	R\$ 0,03/kWh
Acréscimo bandeira vermelha, patamar 2	R\$ 0,05/kWh
TUSD, consumo ponta ou fora-de-ponta	R\$0,034/kWh

## Exemplo de cálculo de conta de energia do grupo A (cont.)

Sem considerar impostos e encargos

Dados:

Período de faturamento	01 a 31 de cada mês
Demanda contratada ponta	1000 kW
Demanda contratada fora-de-ponta	1300 kW

Medições:

Consumo ponta	35000 kWh
Consumo fora-de-ponta, período capacitivo	45000 kWh
Consumo fora-de-ponta, período indutivo	260000 kWh
Demanda ponta	960 kW
Demanda fora-de-ponta, período capacitivo	450 kW
Demanda fora-de-ponta, período indutivo	1320 kW

## Exemplo de cálculo de conta de energia do grupo A (cont.)

Sem considerar impostos e encargos

- Custo consumo =  $35000 \cdot 0,32 + (45000 + 260000) \cdot 0,20 = \text{R\$ } 72200,00$
- Custo demanda =  $960 \cdot 8 + 1320 \cdot 5 = \text{R\$ } 14280,00$
- Uso do sistema =  $(35000 + 45000 + 260000) \cdot 0,034 = \text{R\$ } 11560,00$
- **Total = R\$ 98040,00**

## Possíveis acréscimos

- Bandeiras:
  - amarela: R\$ 3400,00; vermelha patamar 1: R\$ 10200,00; vermelha patamar 2: R\$ 17000,00
- Ultrapassagem de demanda
  - ex.: se demanda fora-de-ponta = 1400 kW, a multa seria de  $(1400-1300)*10,00 = \text{R\$ } 1000,00$
- Fator de potência
  - ex.: 18h às 19h, dia 14/03 (útil), consumo de 945 kWh com f.p. 0,80 indutivo:  $945*(0,92/0,80-1)*0,24 = \text{R\$ } 34,00$
  - demanda excedente de reativo:  $[945*(0,92/0,8)-1000]*8 = \text{R\$ } 694,00$
  - ex.: 02h às 03h, dia 22/03, consumo de 400 kWh com f.p. 0,70 capacitivo:  $400*(0,92/0,70-1)*0,24 = \text{R\$ } 30,17$
  - demanda excedente de reativo:  $[400*(0,92/0,70)-1320]*5 < 0$ , não há cobrança de demanda de reativo

## **OBRIGADO!**

Este material é resultado da modernização dos materiais elaborados pelos professores do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para as diversas disciplinas da área de Eletrotécnica Geral e foi desenvolvido pela professora Milana Lima dos Santos com a coordenação do professor Hernán Prieto Schmidt.