



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

# Distribuição de Energia Elétrica

## O Sistema de Distribuição de Eletricidade

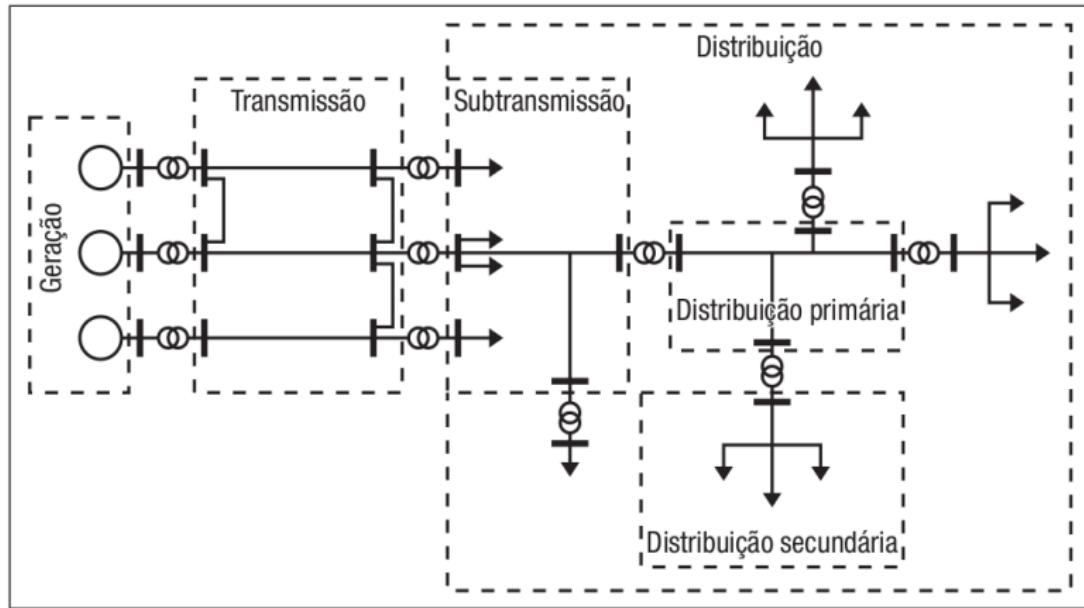
Prof. Lucas Melo

Maio de 2021

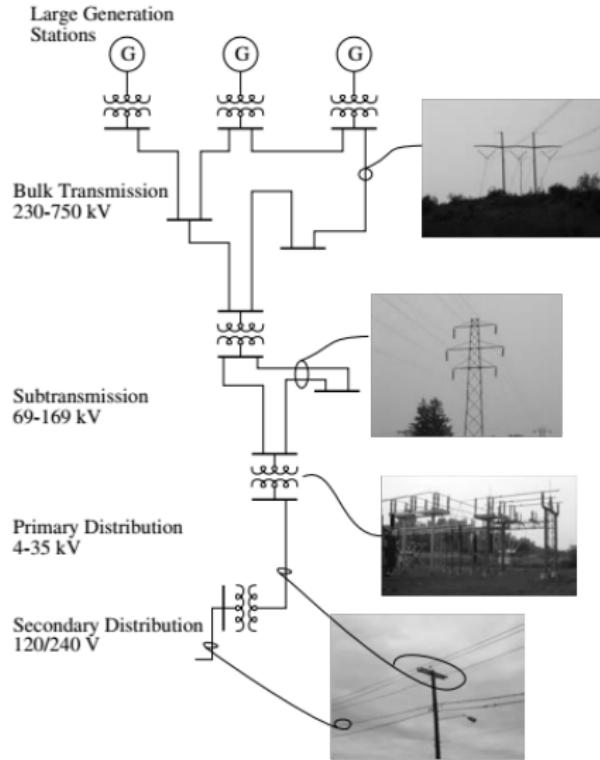
# O Sistema Elétrico de Potência

- **Geração:** Perfaaz a função de converter alguma forma de energia em energia elétrica.
- **Transmissão:** É responsável pelo transporte da energia elétrica dos centros de produção aos de consumo.
- **Distribuição:** Distribui a energia elétrica recebida do sistema de transmissão aos grandes, médios e pequenos consumidores.

# O Sistema Elétrico de Potência



# O Sistema Elétrico de Potência



# O Sistema Elétrico de Potência: Geração

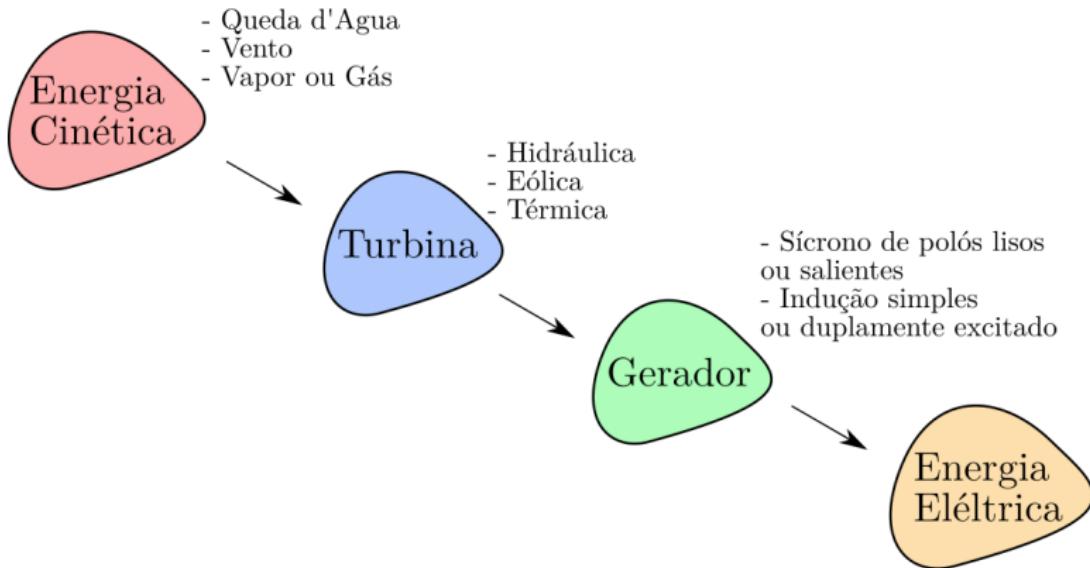
Obtém-se energia elétrica, a partir da conversão de alguma outra forma de energia, utilizando-se máquinas elétricas rotativas (geradores), nas quais o conjugado mecânico é obtido através de um processo que, geralmente utiliza turbinas:

**Hidráulicas:** tempo de construção bastante longo, com custo de investimento elevado, porém, com custo operacional extremamente baixo.

**Térmicas:** tempo de construção e custo de investimento sensivelmente menores, apresentando, no entanto, custo operacional elevado, em virtude do custo do combustível.

**Eólicas:** tempo de construção e investimento menores, gerando energia limpa, com custo operacional baixo, mas com fonte primária intermitente, o que exige mais tecnologia de controle.

# O Sistema Elétrico de Potência: Geração



# Máquinas Síncronas

- O princípio básico de funcionamento de uma máquina síncrona é regido pela Lei de Faraday:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

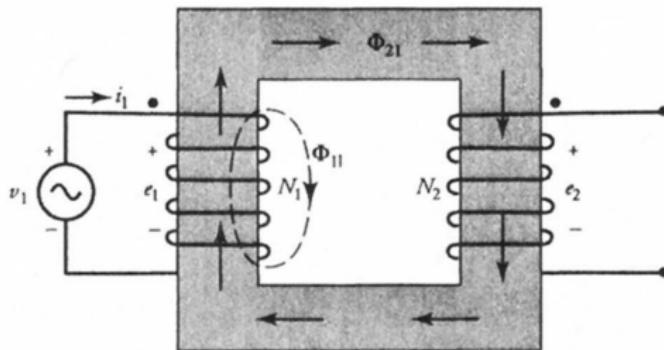
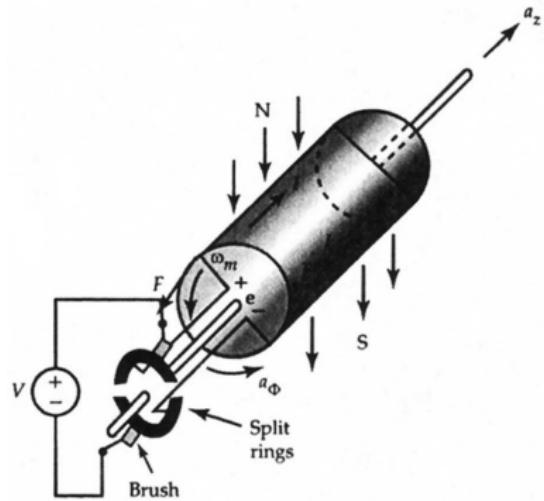


Figura: Lei da Indução de Faraday

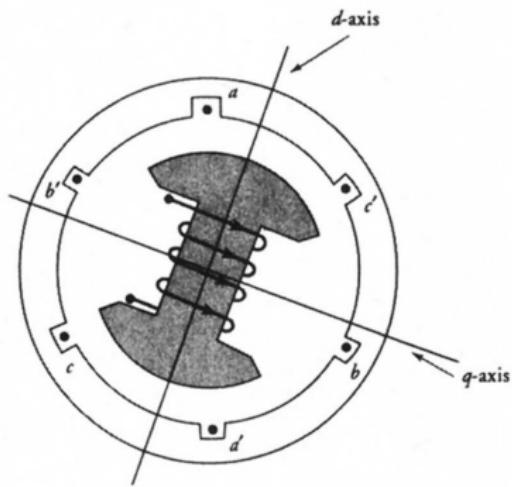
# Máquinas Síncronas



# Máquinas Síncronas

- Tanto nas máquinas síncronas como nas máquinas de corrente contínua, é o **movimento relativo** entre os condutores da bobina e o **campo magnético constante** que é responsável pela tensão induzida;
- Em uma máquina síncrona: As bobinas são estacionárias, e o campo magnético constante é acoplado ao rotor, de maneira que gire.

# Máquinas Síncronas



# Máquinas Síncronas

- Como o próprio nome diz, uma máquina síncrona opera sobre velocidade síncrona, ou seja a velocidade que o campo magnético do enrolamento de campo gira sobre o eixo do rotor.

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (2)$$

- $n_s$  é a velocidade síncrona;
- $f$  é a frequencia da rede elétrica;
- $p$  é o número de pólos da máquina;

# Máquinas Síncronas

- A máquina síncrona possui dois componentes bem distintos:
- Rotor que carrega o **enrolamento de campo**;
- Estator, que carrega o **enrolamento de armadura**;
- Entre estas duas partes existe um *gap* de ar, contínuo e uniforme, também conhecido como **entreferro**.

# Máquinas Síncronas



Figura: Estator de uma Máquina Síncrona

# Máquinas Síncronas



Figura: Detalhe do estator de uma Máquina Síncrona

# Máquinas Síncronas

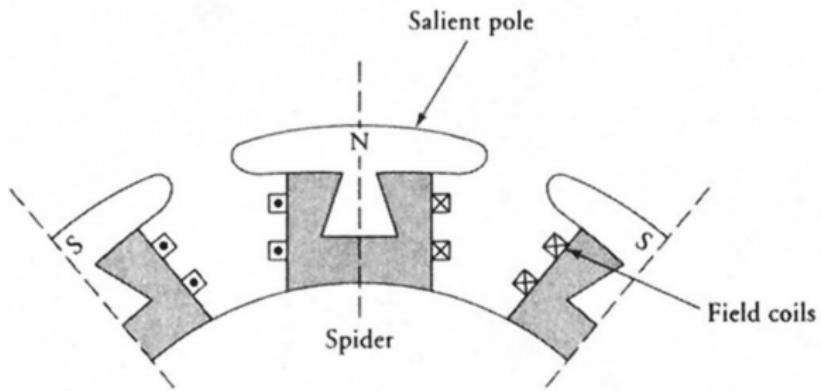


Figura: Detalhe do estator de uma Máquina Síncrona

# Máquinas Síncronas

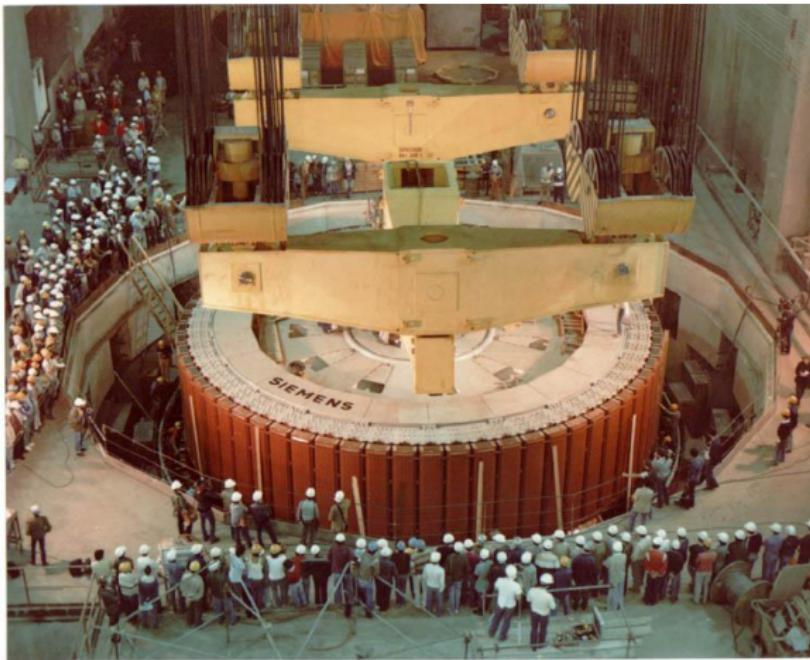


Figura: Rotor de uma Máquina Síncrona

# Máquinas Síncronas

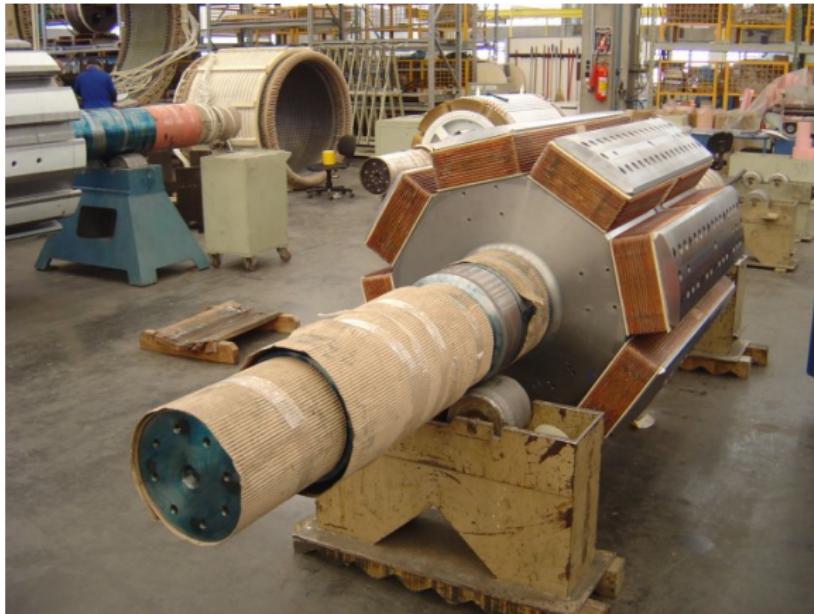


Figura: Rotor de uma Máquina Síncrona

# Máquinas Síncronas: Circuito Equivalente

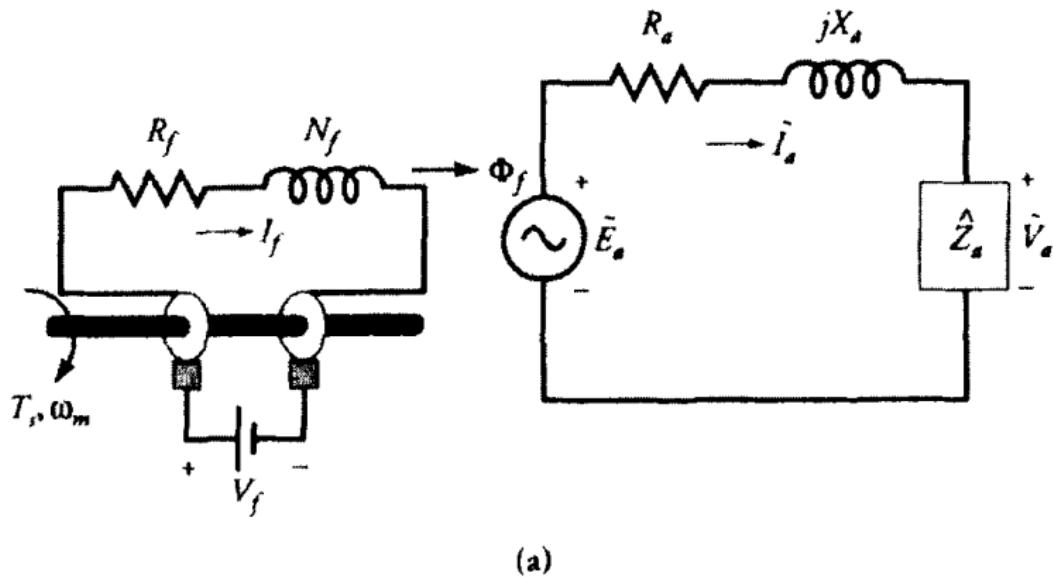


Figura: Circuito equivalente de uma Máquina Síncrona

# Máquinas Síncronas: Controle de fator de potência

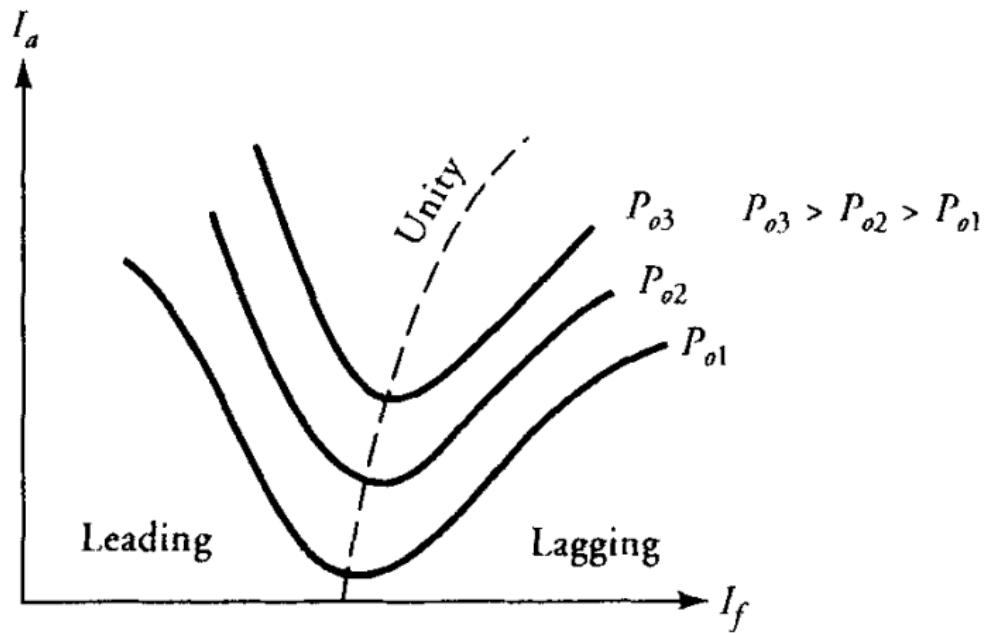


Figura: Variação da corrente de armadura com a corrente de campo

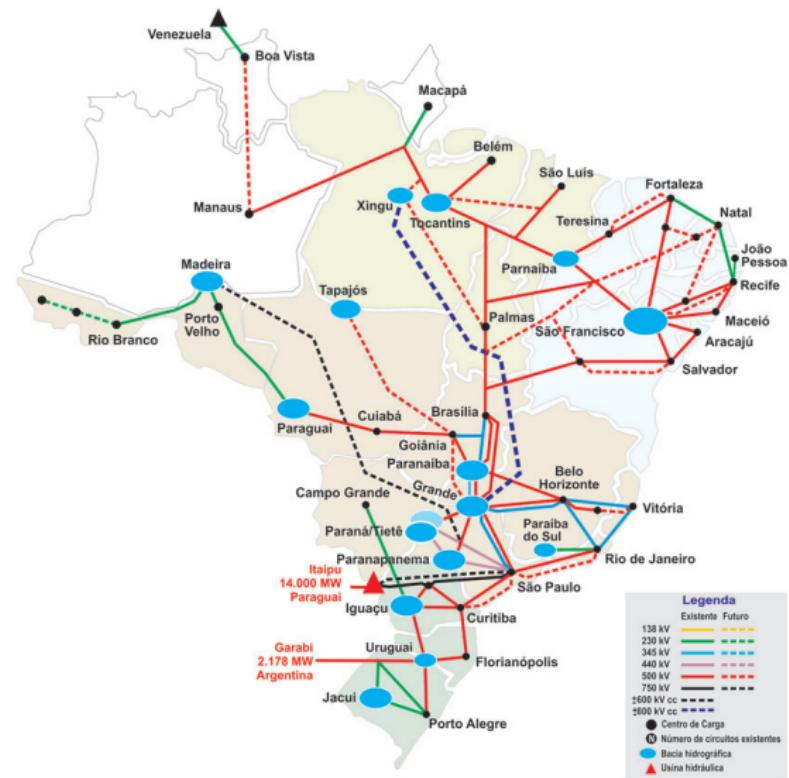
# O Sistema Elétrico de Potência: Transmissão

O sistema de transmissão, que tem por função precípua o transporte da energia elétrica dos centros de produção aos de consumo, deve operar interligado.

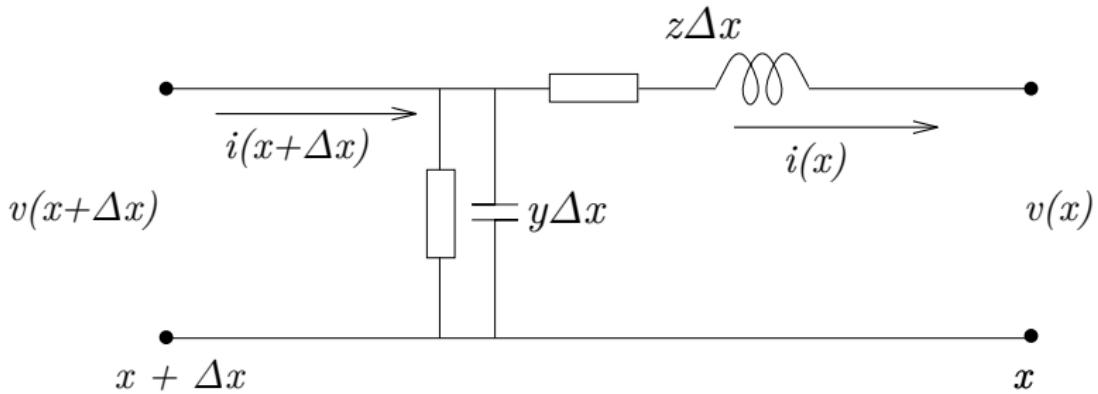
Atualmente, no mundo, há linhas operando em tensões próximas a 1.000 kV e também elos em corrente contínua, atendidos por estação retificadora (+ 600 kV e - 600 kV), do lado da usina, e inversora, do lado do centro de consumo.

Para distâncias relativamente pequenas, que representam a maioria do sistema de transmissão, as linhas são trifásicas e operam em tensão na faixa de 230 a 500 kV.

# O Sistema Elétrico de Potência: Transmissão



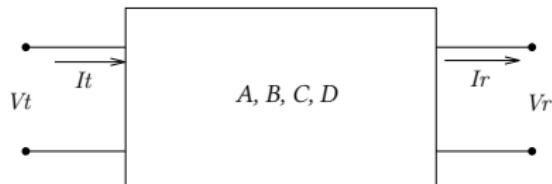
# O Sistema Elétrico de Potência: Transmissão



- Resistência série;
- Indutância série;
- Capacitância em derivação;
- Condutância em derivação.

# Modelo de uma Linha de Transmissão

As Linhas de Transmissão são geralmente representadas por elementos matemáticos chamados quadripolos:



Assim, é possível obter:

$$V_t = A V_r + B I_r \text{ [V]}$$

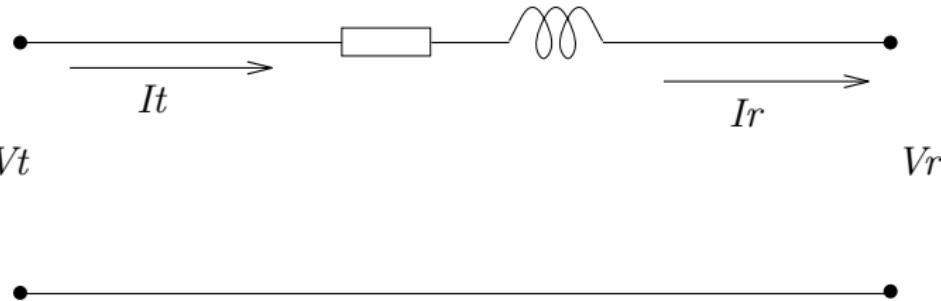
$$I_t = C V_r + D I_r \text{ [A]}$$

Ou matricialmente:

$$\begin{bmatrix} V_t \\ I_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r \\ I_r \end{bmatrix}$$

# Modelo de Linha Curta

$$Z = zl = (R + j\omega L)l$$



É fácil concluir que:

$$I_t = I_r \tag{3}$$

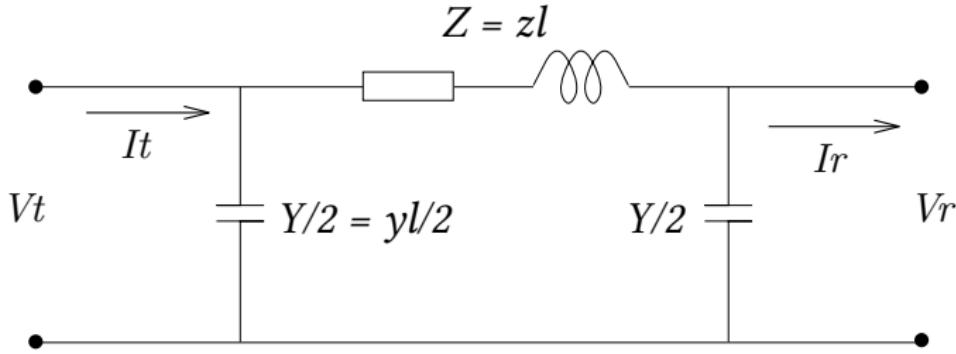
$$V_t = V_r + ZI_r \tag{4}$$

# Modelo de Linha Curta

Em notação de quadripolos:

$$\begin{bmatrix} V_t \\ I_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r \\ I_r \end{bmatrix}$$

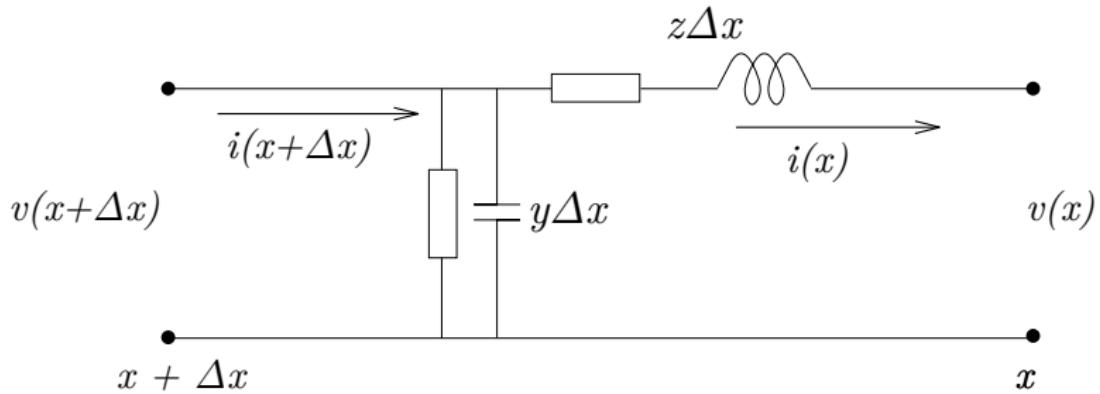
# Modelo de Linha Média



Em notação de quadripolos:

$$\begin{bmatrix} V_t \\ I_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) & Z \\ Y\left(1 + \frac{YZ}{4}\right) & \left(1 + \frac{YZ}{2}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r \\ I_r \end{bmatrix}$$

# Modelo de Parâmetros Distribuídos



Em notação de quadripolos:

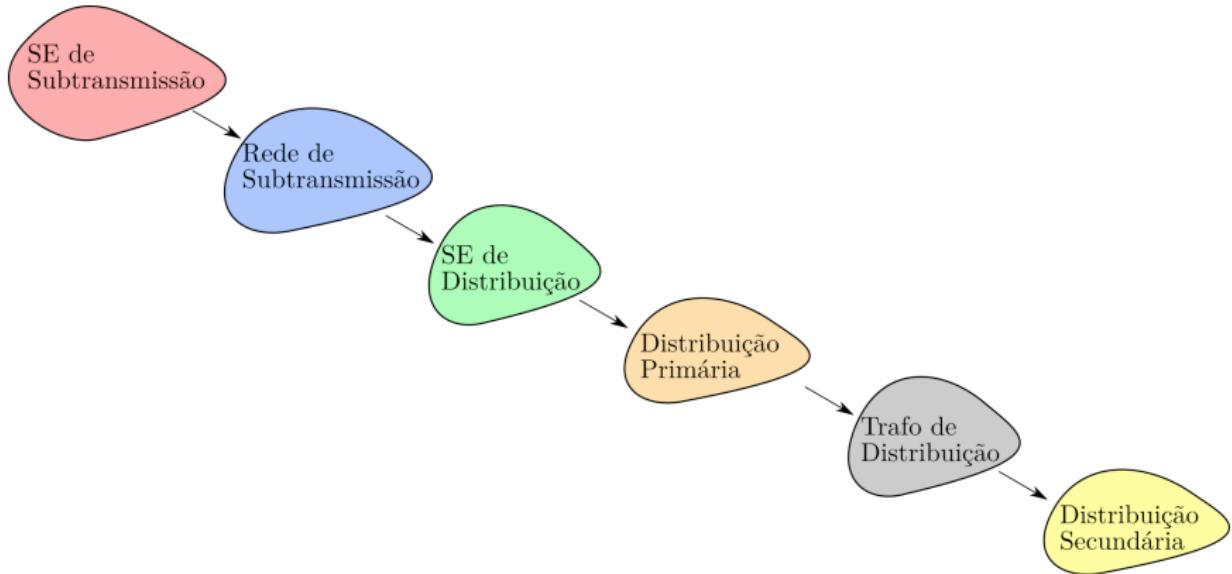
$$\begin{bmatrix} V_t \\ I_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma x) & Z_c \operatorname{senh}(\gamma x) \\ \frac{1}{Z_c} \operatorname{senh}(\gamma x) & \cosh(\gamma x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_r \\ I_r \end{bmatrix}$$

# O Sistema Elétrico de Potência: Distribuição

Está estruturado da seguinte forma:

- Subestação de **interface** com a transmissora;
- Sistema de **subtransmissão**;
- Subestação de distribuição;
- Rede de distribuição **primária**;
- Transformador de distribuição;
- Rede de distribuição **secundária**.

# O Sistema Elétrico de Potência: Distribuição

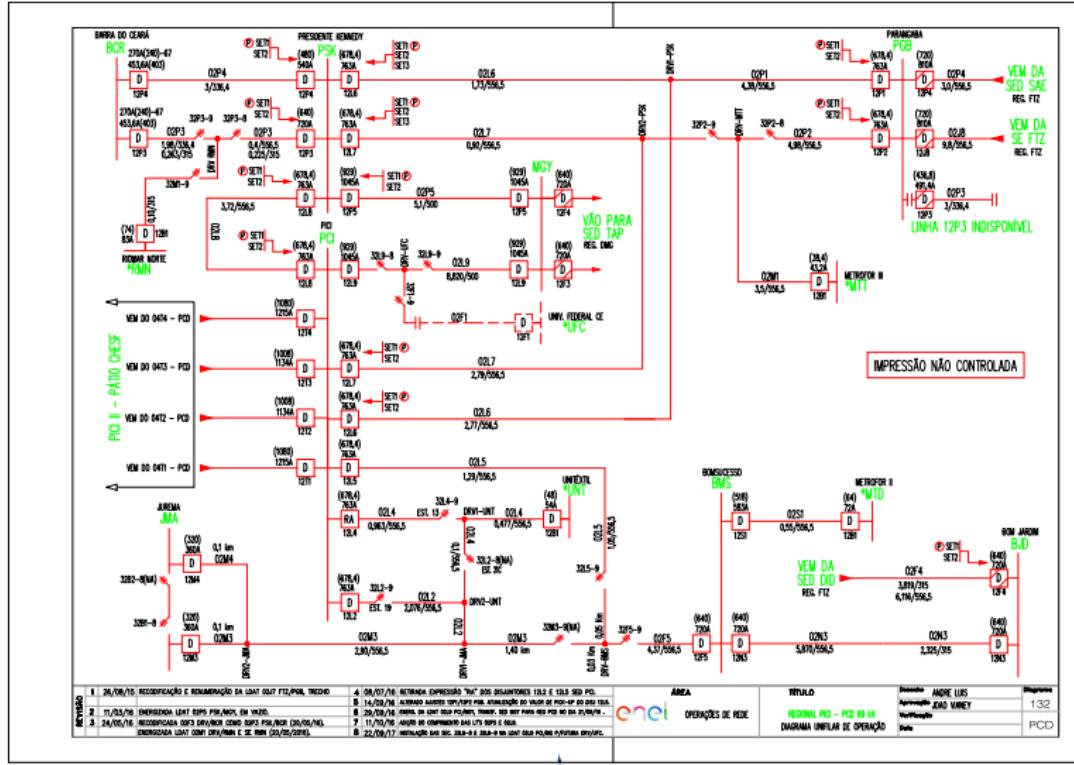


# Sistema de Subtransmissão

Este elo tem a função de **captar a energia** em grosso das subestações de subtransmissão e transferi-la às SEs de distribuição e aos consumidores;

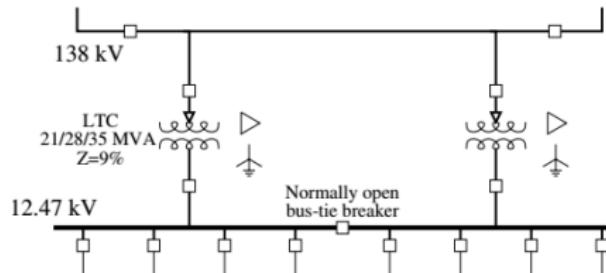
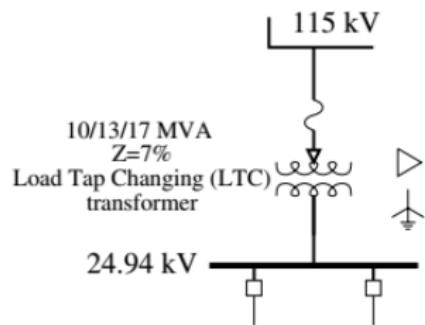
A configuração usual desses sistemas são **linhas trifásicas, aéreas**, com configuração **anel fechado** e com tensão de subtransmissão (usualmente, de **138 kV ou 69 kV** ou, mais raramente, em 34,5 kV).

# Sistema de Subtransmissão



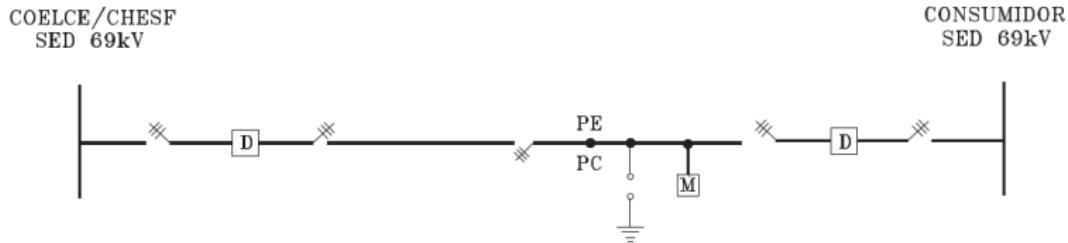
# Subestação de Distribuição

As subestações de distribuição, que são supridas pela rede de subtransmissão, são responsáveis pela **transformação da tensão de subtransmissão para a de distribuição primária**.



# Subestação de Distribuição: Conexão

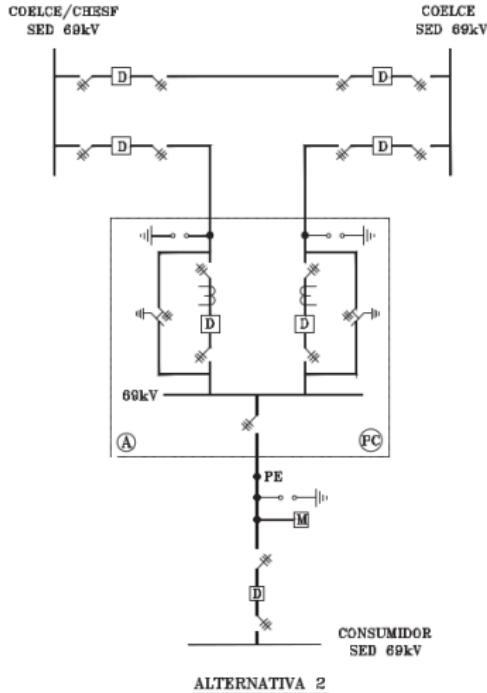
Podem ser conectadas à rede de subtransmissão, segundo os padrões da concessionária.



## ALTERNATIVA 1

INSTALAÇÃO DE CONEXÃO DE UNIDADE  
CONSUMIDORA DE ALTA TENSÃO  
LINHA EXPRESSA

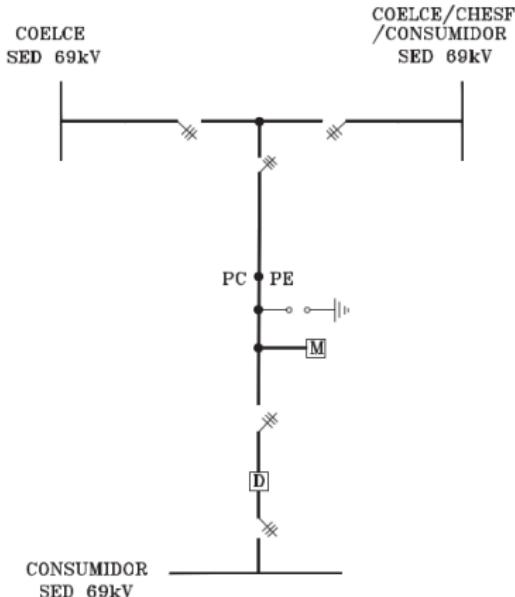
# Subestação de Distribuição: Conexão



ALTERNATIVA 2

INSTALAÇÃO DE CONEXÃO DE UNIDADE  
CONSUMIDORA DE ALTA TENSÃO  
COM 02 DISJUNTORES

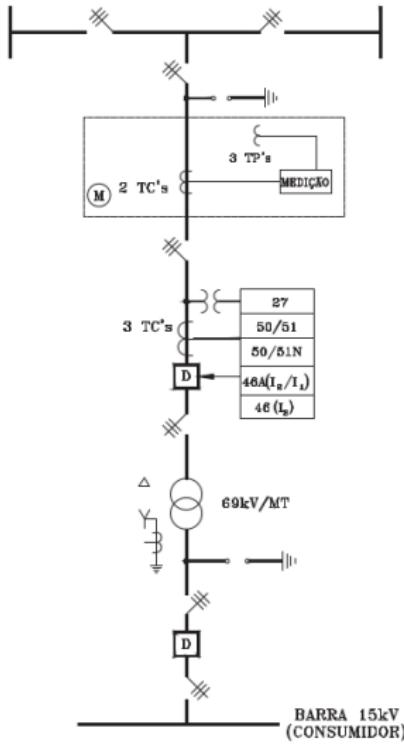
# Subestação de Distribuição: Conexão



ALTERNATIVA 3

INSTALAÇÃO DE CONEXÃO DE UNIDADE  
CONSUMIDORA DE ALTA TENSÃO  
EM DERIVAÇÃO

# Subestação de Distribuição: Componentes



## LEGENDA:

- - PÁRA-RAIO TIPO ESTAÇÃO 10kA
- — — — — - TRANSFORMADOR DE CORRENTE
- — — — — - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
- — — — — - SELECIONADOR TRIPOLAR COM CHIFRES, ATERRAMENTO E BLOQUEIO MECÂNICO
- — — — — - SELECIONADOR TRIPOLAR DE COMANDO SIMULTÂNEO
- - DISJUNTOR
- (27) - FUNÇÃO DE SUBTENSÃO TEMPORIZADO
- (46(I<sub>b</sub>/I<sub>1</sub>)) - RELAÇÃO CORRENTE SEQUÊNCIA NEGATIVA/CORRENTE SEQUÊNCIA POSITIVA
- (46(I<sub>b</sub>)) - FUNÇÃO DE SOBRECORRENTE SEQUÊNCIA NEGATIVA
- (50/51) - FUNÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE, INSTANTâNEO E TEMPORIZADO
- (50<sub>N</sub>/51) - FUNÇÃO DE SOBRECORRENTE DE TERRA, INSTANTâNEO E TEMPORIZADO

# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Componentes



# Subestação de Distribuição: Projetos

- Projeto civil;
- Projeto da malha de terra;
- Especificação de equipamentos;
- Projeto eletromecânico;
- Projeto de proteção e seletividade;
- Projeto dos painéis de proteção, controle e automação;
- Funcional dos equipamentos em campo;
- Diagrama de ligação (DE-PARA);
- Projeto lógico;
- Base de dados do SCADA;
- Projeto do quadro de serviços auxiliares CA e CC.

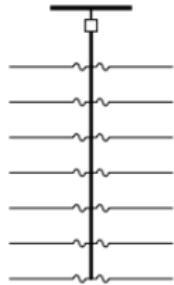
# Rede de Distribuição Primária

São redes de distribuição de energia elétrica em **média tensão**, operando **radialmente** com possibilidade de transferência de blocos de carga entre circuitos, para atendimento da operação em condições de contingência.

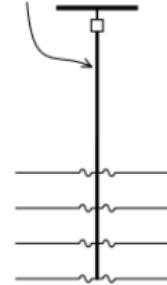
As redes de distribuição primária atendem tanto os **consumidores primários** quanto os **transformadores de distribuição**, que suprem a rede secundária, ou de baixa tensão. Podem ser **aéreas ou subterrâneas**.

# Rede de Distribuição Primária: Topologia

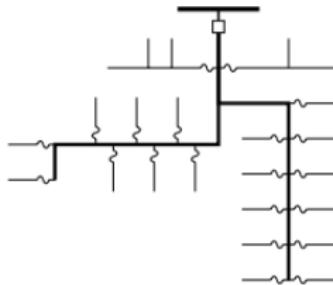
Single mainline



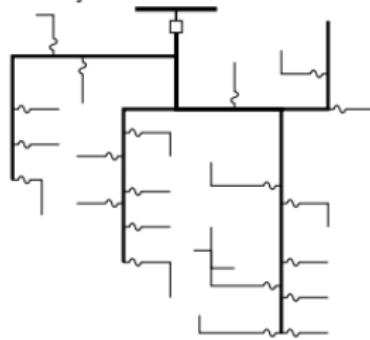
Express feeder



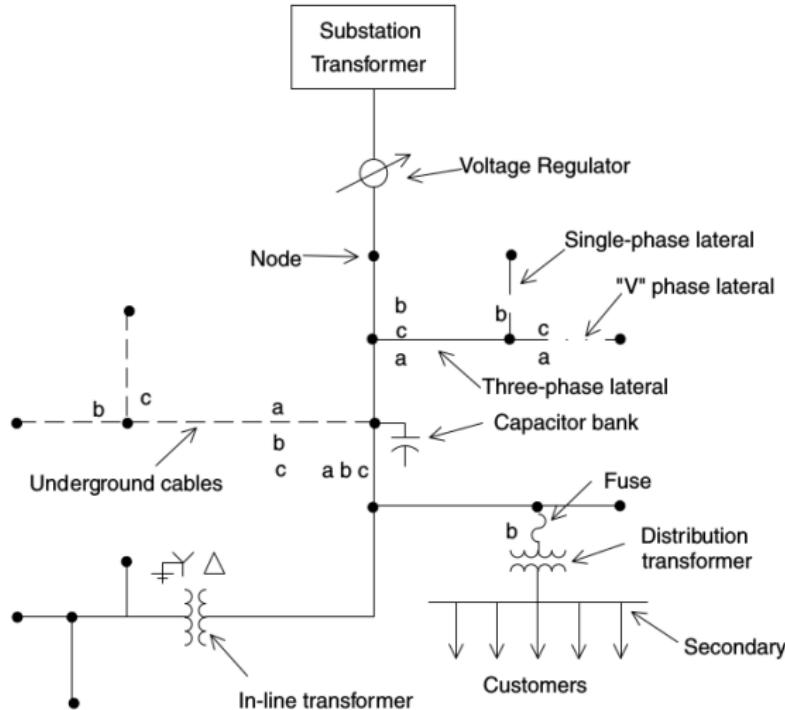
Branched mainline



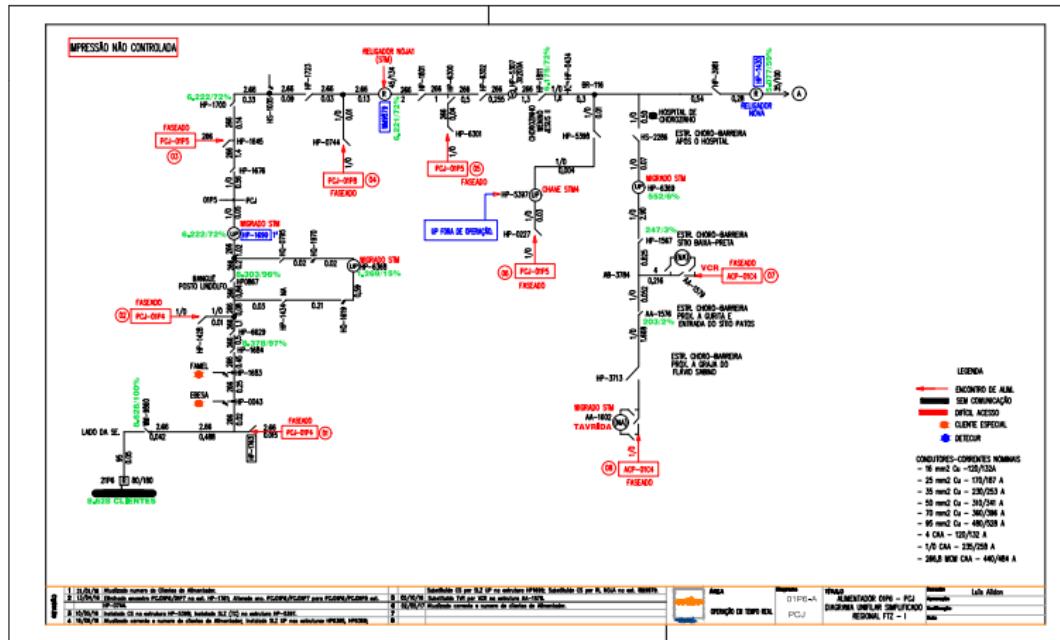
Very branched mainline



# Rede de Distribuição Primária: Componentes



## Rede de Distribuição Primária: Exemplo



# Rede de Distribuição Primária: Características

Typical Distribution Circuit Parameters

	Most Common Value	Other Common Values
<i>Substation characteristics</i>		
Voltage	12.47 kV	4.16, 4.8, 13.2, 13.8, 24.94, 34.5 kV
Number of station transformers	2	1–6
Substation transformer size	21 MVA	5–60 MVA
Number of feeders per bus	4	1–8
<i>Feeder characteristics</i>		
Peak current	400 A	100–600 A
Peak load	7 MVA	1–15 MVA
Power factor	0.98 lagging	0.8 lagging–0.95 leading
Number of customers	400	50–5000
Length of feeder mains	4 mi	2–15 mi
Length including laterals	8 mi	4–25 mi
Area covered	25 mi <sup>2</sup>	0.5–500 mi <sup>2</sup>
Mains wire size	500 kcmil	4/0–795 kcmil
Lateral tap wire size	1/0	#4–2/0
Lateral tap peak current	25 A	5–50 A
Lateral tap length	0.5 mi	0.2–5 mi
Distribution transformer size (1 ph)	25 kVA	10–150 kVA

## Rede de Distribuição Primária: Aérea

As redes aéreas são construídas utilizando-se postes, de concreto, que suportam, em seu topo, a cruzeta, com cerca de dois metros de comprimento, na qual são fixados os isoladores de pino.

Utilizam-se condutores de **alumínio (AA)**, **alumínio com alma de aço (ACSR)**, **cobre** ou de **aço/cobre** e **aço/alumínio** que podem ser nus ou protegidos.

Os cabos protegidos contam com capa externa de material isolante que se destina à proteção contra contatos ocasionais de objetos, por exemplo, galhos de árvores, sem que se destine a isolar os condutores (exemplo mais comum são as redes compactas).

# Tabela de Condutores

Size	Stranding	Material	DIAM Inches	GMR Feet	RES $\Omega/mile$	Capacity Amps
3/0	6/1	ACSR	0.502	0.006	0.723	300
3/0	7 STRD	Copper	0.464	0.01404	0.382	420
3/0	CLASS A	AA	0.464	0.014	0.611	263
3/8	INCH STE	Steel	0.375	0.00001	4.3	150
4/0	12 STRD	Copper	0.552	0.0175	0.303	490
4/0	19 STRD	Copper	0.528	0.01668	0.303	480
4/0	6/1	ACSR	0.563	0.00814	0.592	340
4/0	7 STRD	Copper	0.522	0.01579	0.303	480
4/0	CLASS A	AA	0.522	0.0158	0.484	299
250,000	12 STRD	Copper	0.6	0.01902	0.257	540
250,000	19 STRD	Copper	0.574	0.01813	0.257	540
250,000	CON LAY	AA	0.567	0.0171	0.41	329
266,800	26/7	ACSR	0.642	0.0217	0.385	460
266,800	CLASS A	AA	0.586	0.0177	0.384	320
300,000	12 STRD	Copper	0.657	0.0208	0.215	610
300,000	19 STRD	Copper	0.629	0.01987	0.215	610
300,000	26/7	ACSR	0.68	0.023	0.342	490
300,000	30/7	ACSR	0.7	0.0241	0.342	500

# Condutores Padronizados no Brasil

No Brasil, a padronização das secções adotadas pela ABNT para cabos de Alumínio, Alumínio-Aço e cabos de Cobre nu, baseia-se na padronização americana **AWG** (*American Wire Gauge*) e também na unidade **mil**.

# O Padrão AWG

Sigla para *American Wire Gage*. De acordo com esse sistema, os condutores são numerados em ordem de secção decrescente de 0 a 36 e em secção crescente 00, 000, 0000, (ou 2/0, 3/0 e 4/0), totalizando 40 tamanhos de seção.

A menor seção AWG que é de 36 tem diâmetro definido de 0,005in (0,0127cm) e a maior seção AWG que é a 0000 tem diâmetro definido de 0,46in (1,17cm)

No padrão AWG matém-se as relações constantes entre diâmetros e entre secções. Dessa forma entre dois números consecutivos a relação é igual a 1,123 e a relação entre áreas de seções transversais é 1,261.

Outra relação interessante no AWG é a de que a relação das áreas de fios que diferem da ordem de 10 é também igual a 10.

# O Padrão AWG

Cabos de secções maiores do que 0000 (211,6) são especificados em *circular mils*.

É comum esses condutores serem especificados em kcmil ou MCM.

Por definição 1.000-kcmil tem um diâmetro de 1in

# Tabela de Condutores

	AWG #	Área (CM)	Ω/1.000 pés a 20°C	Corrente máxima permitida para isolamento RHW (A)*
(4/0)	<b>0000</b>	211.600	0,0490	<b>230</b>
(3/0)	<b>000</b>	167.810	0,0618	<b>200</b>
(2/0)	<b>00</b>	133.080	0,0780	<b>175</b>
(1/0)	<b>0</b>	105.530	0,0983	<b>150</b>
	<b>1</b>	83.694	0,1240	<b>130</b>
	<b>2</b>	66.373	0,1563	<b>115</b>
	<b>3</b>	52.634	0,1970	<b>100</b>
	<b>4</b>	41.742	0,2485	<b>85</b>
	<b>5</b>	33.102	0,3133	—
	<b>6</b>	26.250	0,3951	<b>65</b>
	<b>7</b>	20.816	0,4982	—
	<b>8</b>	16.509	0,6282	<b>50</b>
	<b>9</b>	13.094	0,7921	—
	<b>10</b>	10.381	0,9989	<b>30</b>
	11	8.234,0	1,260	—
	<b>12</b>	6.529,9	1,588	<b>20</b>
	13	5.178,4	2,003	—
	<b>14</b>	4.106,8	2,525	<b>15</b>

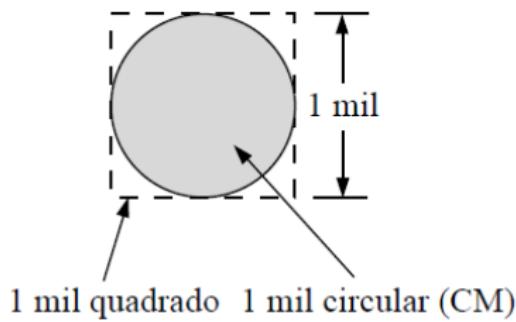
# Unidade de Medida mil e circular mil

O **mil** é uma unidade de medida de comprimento e se relaciona com a polegada de acordo com a expressão:

$$1 \text{ mil} = \frac{1}{1000} \text{ in} \quad (5)$$

$$1000 \text{ mil} = 1 \text{ in} \quad (6)$$

**Definição:** Um fio de diâmetro  $1,0 \text{ mil}$  tem uma área de seção de  $1 \text{ mil circular}$  ou  $1 \text{ CM}$



# Unidade de Medida mil e circular mil

1CM equivale a uma área muito pequena

Assim, é comum encontrar em tabelas de condutores a sigla MCM, que segue a seguinte relação:

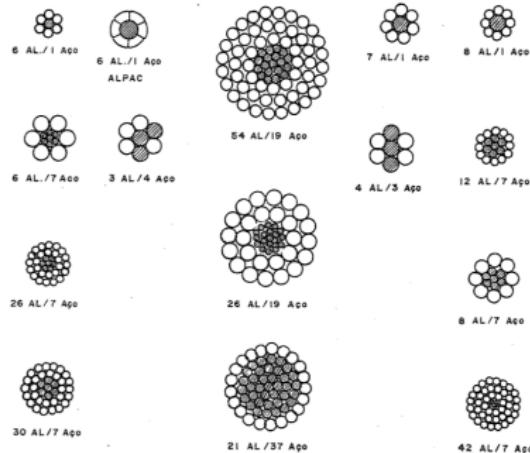
$$1MCM = 10^3 \times 1CM \quad (7)$$

Só para se ter uma noção:

$$1 MCM = 1.000cmil = 785,4 \times 10^{-6}in^2 \approx 0,5 mm^2 \quad (8)$$

# Condutores ACSR

Em transmissão e distribuição a prática recomendou e o uso estabeleceu bitolas mínimas de condutores de Alumínio com alma de aço a bitola 4 AWG a qual corresponde uma secção de 41,740 MCM.



# Condutores AC e ACSR

É muito comum no Brasil a designação dos cabos de Alumínio (CA) e Alumínio com alma de aço(CAA) através do **código canadense** de referências comerciais.

De acordo com esse código há para cada tipo de cabo uma família de nomes através dos quais cada bitola fica completamente definida.

# Condutores ACSR

Assim, para os cabos CA, as palavras código são **nomes de flores**, e para os cabos CAA as palavras código são **nomes de aves**, em ambos os casos na língua inglesa.

## Exemplo:

TULIP cabo CA de Alumínio composto de 19 filamentos com área total de 336.400 CM.

PENGUIN cabo CAA composição 1 fio de aço e 6 de Alumínio com uma secção de 125,1 mm<sup>2</sup>.

# Condutores padronizados Enel

**Tabela 3:** Características do Condutores de Cobre Nu (CCN)

Seção Nominal do Condutor (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro Nominal do Condutor (mm)	Formação do Condutor Nº de Fios X Diâmetro (mm)	Resistência Elétrica Máxima a 20°C (Ω/km)	Corrente Nominal (A)	Carga de Ruptura Máxima (daN)	Peso (kg/km)
25	6,18	7 x 2,06	0,795	187	933	228
35	7,50	7 x 2,50	0,538	227	1.356	317
70	10,60	19 x 2,12	0,276	356	2.661	624
95	12,50	19 x 2,50	0,198	438	3.686	859

**Tabela 4 :** Características dos Condutores de Alumínio Nu com Alma de Aço (CAA)

Bitola do Condutor (AWG-MCM)	Tipo	Seção Nominal do Condutor (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro Nominal do Condutor (mm)	Formação do Condutor Nº de Fios X Diâmetro (mm)	Resistência Elétrica Máxima a 20°C (Ω/km)	Corrente Nominal (A)	Carga de Ruptura Máxima (daN)	Peso (kg/km)
4	Swan	24,71	6,35	6/1 x 2,12	1,3278	140	812	85,40
1/0	Raven	62,38	10,11	6/1 x 3,37	0,5243	242	1.904	216,34
266,8	Partridge	157,20	16,31	26 x 7	0,2100	475	4.936	547,00

# Condutores padronizados Enel

**Tabela 5 : Características dos Condutores de Liga de Alumínio (CAL)**

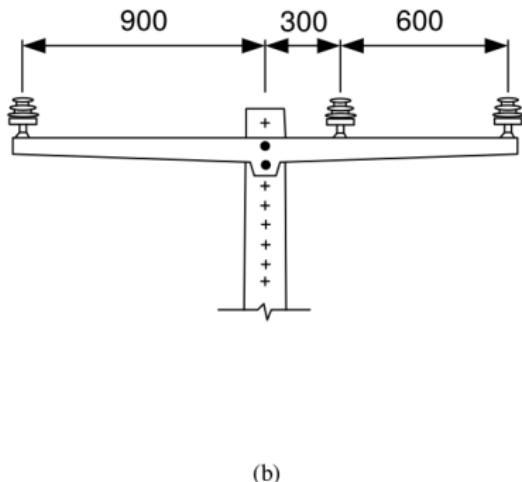
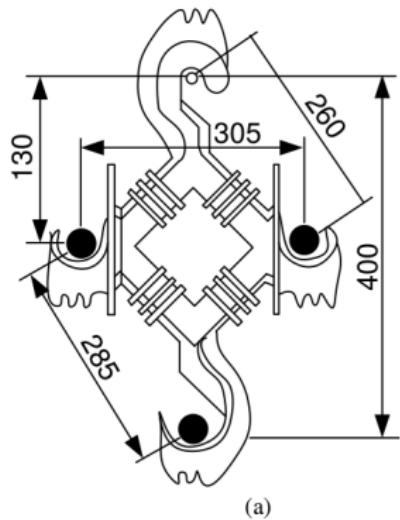
Condutor Liga A6201 (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro Nominal do Condutor (mm)	Formação do Condutor Nº de Fios X Diâmetro (mm)	Resistência Elétrica Máxima a 20°C (Ω/km)	Corrente Nominal (A)	Carga de Ruptura Máxima (daN)	Peso (kg/km)
50	9,09	7 x 3,02	0,668	216	1.540	140,30
70	10,50	19 x 2,17	0,478	268	2.170	192,70
120	14,15	19 x 2,83	0,279	385	3.880	327,90
160	16,35	19 x 3,25	0,205	460	4.762	441,00

**Tabela 7: Condutores de Alumínio Protegido para Rede Compacta 15 kV**

Seção Nominal (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro Nominal (mm)	Número de Fios	Resistência Elétrica Máxima CC a 20°C (ohm.)	Carga de Ruptura Mínima (daN)	Massa Aproximada (kg/km)	Corrente (A)
70	10,20	12	0,4202	910	315	225
185	16,80	30	0,1591	2.405	695	525
240	19,20	30	0,1228	3.120	875	625

# Rede de Distribuição Primária: Aérea

Também é comum a substituição da cruzeta por estrutura isolante, sistema spacer cable, que permite a sustentação dos cabos protegidos. Este tipo de construção apresenta custo por quilômetro maior que o anterior.



# Rede de Distribuição Primária: Aérea

As redes **spacer** devem ser construídas preferencialmente em:

- áreas densamente arborizadas;
- áreas de preservação ambiental;
- áreas de centros comerciais onde o espaço para instalação da rede seja reduzido devido a marquises, janelas, sacadas, etc.;
- condomínios fechados, considerando os aspectos de segurança e confiabilidade;
- áreas onde seja exigido um alto grau de confiabilidade devido a existência de consumidores especiais, como hospitais, emissoras de televisão, etc;

# Rede de Distribuição Primária: Aérea

As redes **spacer** devem ser construídas preferencialmente em:

- áreas já bastante congestionadas e onde seja necessário instalar novos alimentadores;
- quando for obrigatório a instalação de circuitos múltiplos na mesma posteação;
- áreas de grande movimentação de pedestres, onde eventualmente são realizados eventos;
- alimentadores expressos;
- outras áreas que por conveniência técnica seja exigido este tipo de padrão.

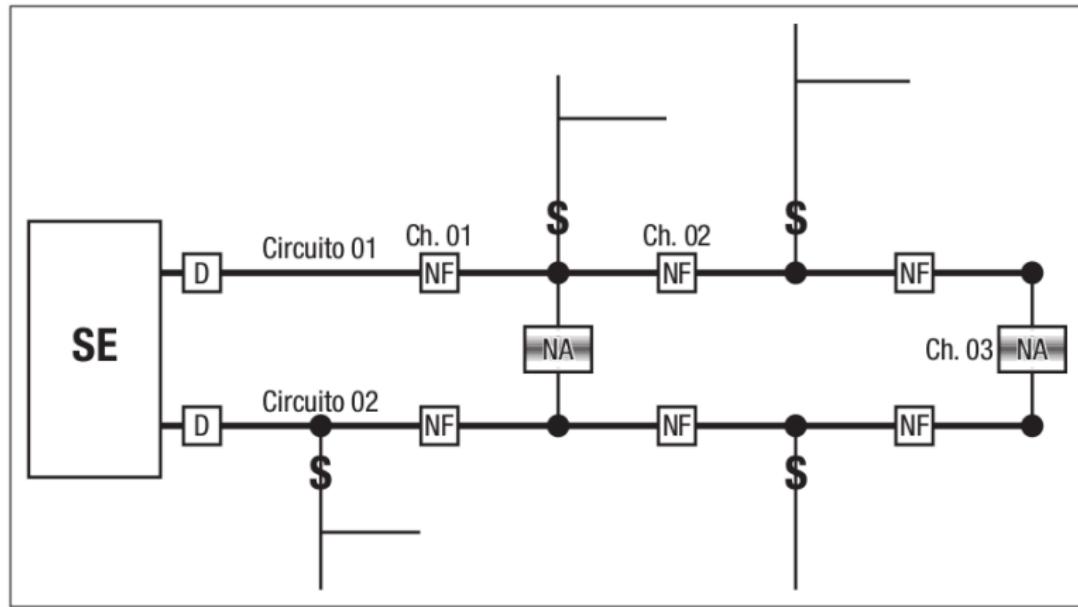
# Rede de Distribuição Primária: Aérea

As redes primárias, contam com um **tronco principal** do qual se derivam **ramais**, que usualmente são protegidos por **fusíveis**.

Dispõem de **chaves de seccionamento**, que operam na condição normal fechadas, **chaves normalmente fechadas, NF**, que se destinam a isolar blocos de carga, para permitir sua manutenção corretiva ou preventiva.

É usual instalar-se num mesmo circuito, ou entre circuitos diferentes, chaves que operam abertas, **chaves normalmente abertas, NA**, que podem ser fechadas em manobras de **transferência de carga**.

# Rede de Distribuição Primária: Aérea



# Transformadores de distribuição

Os transformadores de distribuição **reduzem** a tensão primária, para a de distribuição secundária. De seu secundário deriva-se, sem proteção alguma, a rede secundária.

Contam, usualmente, com:

- **Para-raios**, para a proteção contra sobretensões;
- **Elos fusíveis** para a proteção contra sobrecorrentes, instalados no primário

Nas redes aéreas utilizam-se, usualmente, **transformadores trifásicos**, instalados diretamente nos postes.

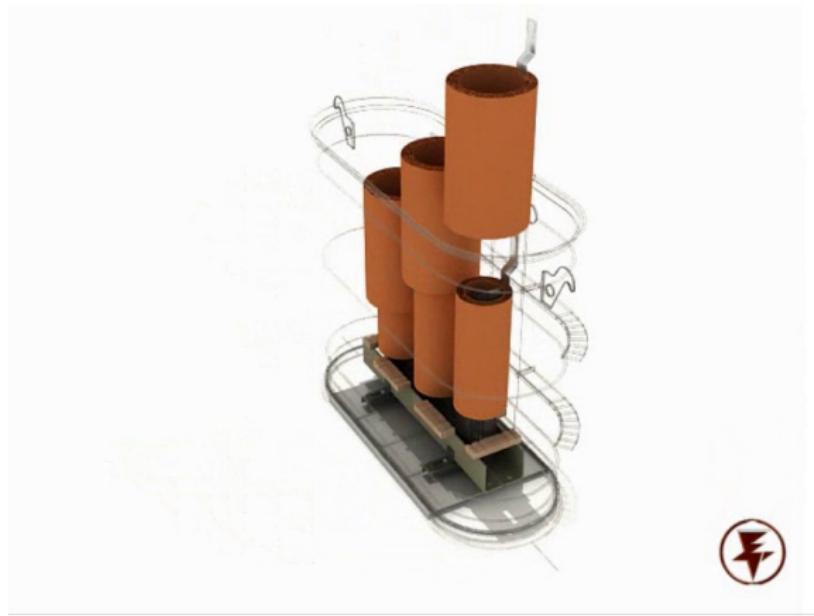
Em geral, suas potências nominais são fixadas na série padronizada, isto é, 10,0 – 15,0 – 30,0 – 45,0 – 75,0 – 112,5 e 150 kVA.

# Transformadores de distribuição

No Brasil, a tensão de **distribuição secundária** está padronizada nos valores **220/127 V e 380/220 V**, havendo predomínio da primeira nos Estados das regiões sul e sudeste e da segunda no restante do país.

O esquema mais usual consiste na utilização de transformadores trifásicos, com **resfriamento a óleo**, estando os **enrolamentos do primário ligados em triângulo e os do secundário em estrela, com centro estrela aterrado**.

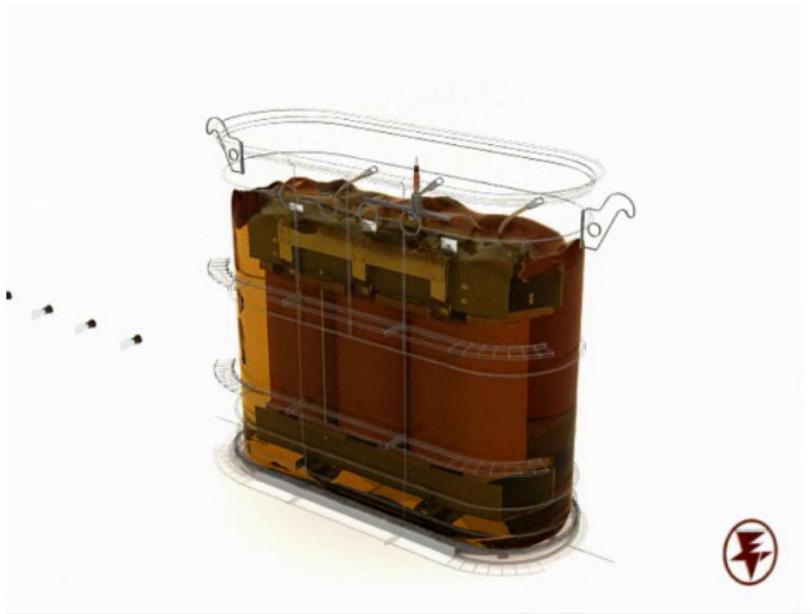
# Transformador de distribuição



# Transformador de distribuição



# Transformador de distribuição



# Transformador de distribuição



# Rede de Distribuição Secundária

Do transformador de distribuição, deriva-se a rede de baixa tensão, 220/127 V ou 380/220 V, que **supre os consumidores de baixa tensão, consumidores residenciais, pequenos comércios e indústrias.**

Alcança, por circuito, **comprimentos da ordem de centenas de metros.** Destaca-se o predomínio, nesta rede, de consumidores residenciais.

# Condutores padronizados Enel

**Tabela 8:** Condutor Multiplexado de Alumínio Isolado em XLPE 0,6 / 1 kV

Seção do Condutor (mm <sup>2</sup> )		Tração a Ruptura Mínima (daN)	Massa Total aproximado (kg/km)	Corrente Admissível no Condutor Fase (A)
Fase	Neutro			
1x25	1x25	700	250	83
3x25	1x50	1400	515	83
3x50	1x50	1400	727	121
3x95	1x50	1400	1267	188
3x150	1x70	1980	1996	270

**Tabela 9:** Condutor Multiplexado de Cobre Isolado em XLPE – 0,6 / 1 kV

Seção do Condutor (mm <sup>2</sup> )		Tração a Ruptura Mínima (daN)	Massa Total aproximado (kg/km)	Corrente Admissível no Condutor Fase (A)
Fase	Neutro			
1x16	1x16	634	330	88
3x16	1x16	634	651	88
3x35	1x35	1348	1402	124
3x70	1x50	1901	2493	196
3x95	1x50	1901	3242	245

# Rede de Distribuição Secundária

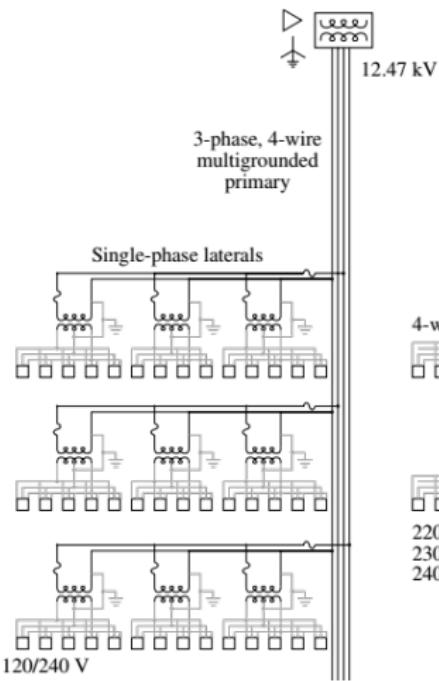
Observa-se que a natureza de cada segmento do sistema define implicitamente o **grau de confiabilidade** que dele é exigido, em função do **montante de potência transportada**.

Assim, como é evidente, nesta hierarquia de responsabilidade, o **primeiro elemento é a SE de subtransmissão**, responsável pela transferência de potência da ordem da centena de MVA, e o **último é a rede de baixa tensão**, na qual a potência em jogo é da ordem de dezenas de kVA.

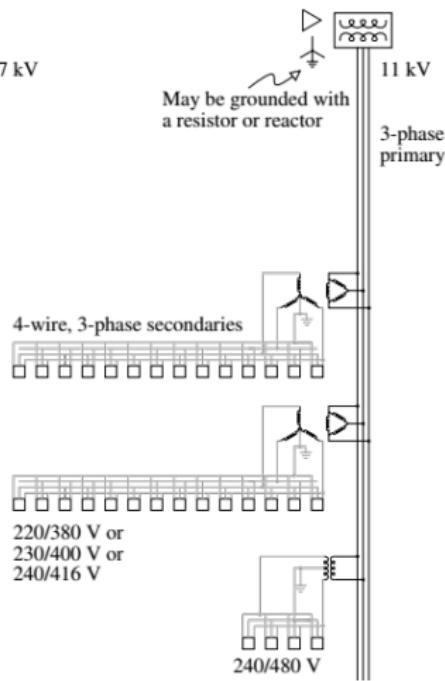
Nesse contexto, a **rede de distribuição secundária usualmente não conta com recurso para o atendimento de contingências**.

# Comparação dos Sistemas Americano e Europeu

North American Layout



European Layout



# Comparação dos Sistemas Americano e Europeu

As tensões no secundário dos transformadores no sistema americano são de 12/240V isso resulta em circuitos com comprimentos não mais que 250 ft.

No sistema europeu essa distância chega até 1 milha. Isso resulta em secundários até 8 vezes maiores que os americanos.

Lembrando que:

$$1\text{ milha} = 1.609,34\text{ metros} \quad (9)$$

$$1\text{ pe} = 0,3048\text{ metros} \quad (10)$$

$$1\text{ milha} = 5.280\text{ pes} \quad (11)$$

# A Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica

Uma **possível** forma de organização descentralizada de uma concessionária de energia poderia ser:

- Área de **Normas e Especificações** da Distribuição;
- Área de **Sistemas Técnicos** da Distribuição;
- Área de **Controle da Qualidade** da Distribuição;
- Área de **Planejamento** da Distribuição.

# A Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica

Documentos Técnicos e Oficiais das Concessionárias de Distribuição:

- **Norma Técnica:** NT-001, NT-002, NT-003, NT-004;
- **Padrão:** PE-030, PE-031, PE-038;
- **Especificação:** Transformadores, Bancos de Capacitores, Religadores.

# Atendimento aos consumidores pela concessionária

As condições de atendimento de energia elétrica diretamente pela rede dedistribuição secundária são regulamentadas pelas normas específicas das concessionárias. No nosso caso da Enel Ceará temos:

- NT-001: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição;
- NT-002: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição.
- NT-003: Fornecimento de Energia Elétrica a Prédios de Múltiplas Unidades Consumidoras;
- NT-004: Fornecimento de Energia Elétrica em Alta Tensão - 69 kV.

# Atendimento a consumidores residenciais

Neste caso não é necessário a apresentação de projeto elétrico, sendo realizada apenas uma inspeção na instalação para que esta possa ser energizada.

O fornecimento pode ser:

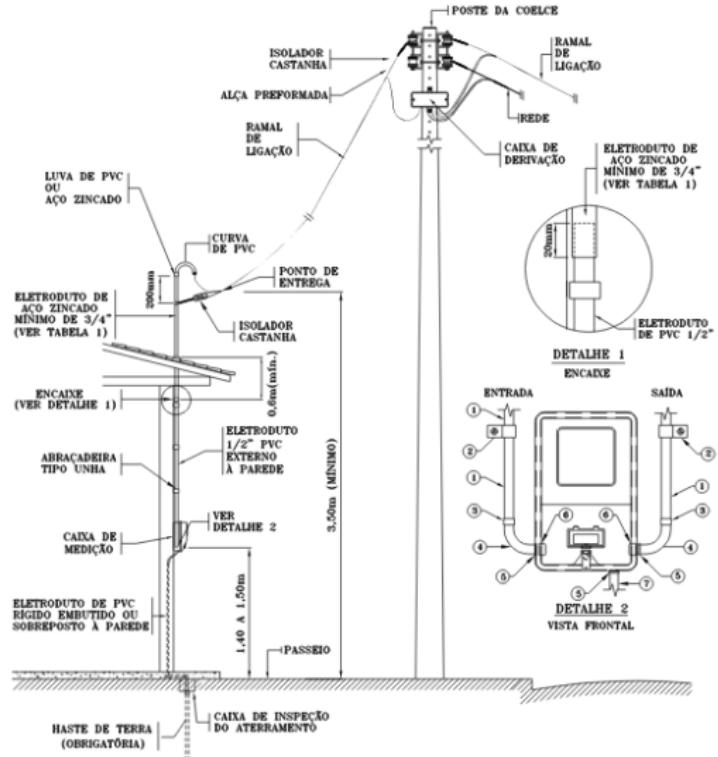
- Monofásico: (Fase-Neutro) Carga instalada até 10kW;
- Bifásico: (2 Fases-Neutro) Carga instalada até 20kW;
- Trifásico: (3 Fases-Neutro) Carga instalada até 75kW.

# Atendimento a consumidores residenciais

**Tabela 1:** Dimensionamento da Entrada, Pontalete, Poste Auxiliar e Disjuntor

Tipo de Fornecimento	Carga Instalada (kW)	Corrente máxima do Disjuntor de Proteção (A) <small>Nota 3</small>	Potência Disponibilizada pela Coelce (kVA)	Seção mínima do condutor de saída do medidor para unidade consumidora (mm²) <small>Nota 4</small>	Unidades Consumidoras Conectadas à Rede Aérea de Distribuição		Eletroduto de PVC Rígido do Ramal de Entrada <small>Nota 6</small>	Condutor Mínimo de Aterramento (mm²) <small>Nota 7</small>	Diâmetro do Pontalete de Aço Zinorado (Pol) <small>Nota 8</small>	Estorpo Mínimo do Poste Auxiliar (daN) <small>Nota 9</small>				
					Concêntrico									
					Cobre	Alumínio <small>Nota 5</small>								
Monofásica	até 4,0	16	3,52	2,5	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	1/2	20	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	3/4	75			
	4,10 a 5,0	20	4,40	2,5	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	1/2	20	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	3/4	75			
	5,10 a 6,25	25	5,50	4	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	1/2	20	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	3/4	75			
	6,26 a 8,0	32	7,04	4	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	10 ou 16 <small>Nota 1,2</small>	1/2	20	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	3/4	75			
	8,1 a 10,0	40	8,80	6	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	10 ou 16 <small>Nota 1,2</small>	1/2	20	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	3/4	75			
	Maior que 10	20	8,80	4	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	1	32	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	1	75			
Bifásica	10,10 a 12,50	25	11,00	4	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	1	32	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	2	75			
	12,51 a 16,0	32	14,08	4	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	10 ou 16 <small>Nota 1,2</small>	1	32	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	2	75			
	16,10 a 20,0	40	17,80	6	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	10 ou 16 <small>Nota 1,2</small>	1	32	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	2	75			
	Maior que 19	25	16,45	4	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	2	60	4 ou 6 <small>Nota 1</small>	-	75			
Trifásica	19,10 a 24,0	32	21,06	6	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	10 ou 16 <small>Nota 1,2</small>	2	60	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	-	75			
	24,10 a 30,0	40	26,33	10	6 ou 10 <small>Nota 1</small>	10 ou 16 <small>Nota 1,2</small>	2	60	10	-	75			
	30,10 a 37,0	50	32,91	10	16	-	2	60	10	-	100			
	37,10 a 47,0	63	41,46	16	16	-	2	60	16	-	Nota 8			
	47,10 a 60,0	80	52,65	25	35	-	2	60	25	-	Nota 9			
	60,10 a 75,0	100	65,82	35	35	-	2	60	25	-	Nota 9			

# Atendimento a consumidores residenciais



# Atendimento a grandes consumidores

As indústrias com carga com carga instalada superior a 75kW são atendidas em tensão primária de distribuição e devem apresentar o projeto elétrico de suas instalações para que possam ser conectadas à rede elétrica, devendo seguir as recomendações da NT-002. A demanda da instalação deve ser calculada seguindo a seguinte equação:

$$Demanda(kVA) = \frac{Carga\ Instalada(kW)}{FP} \times FD \quad (12)$$

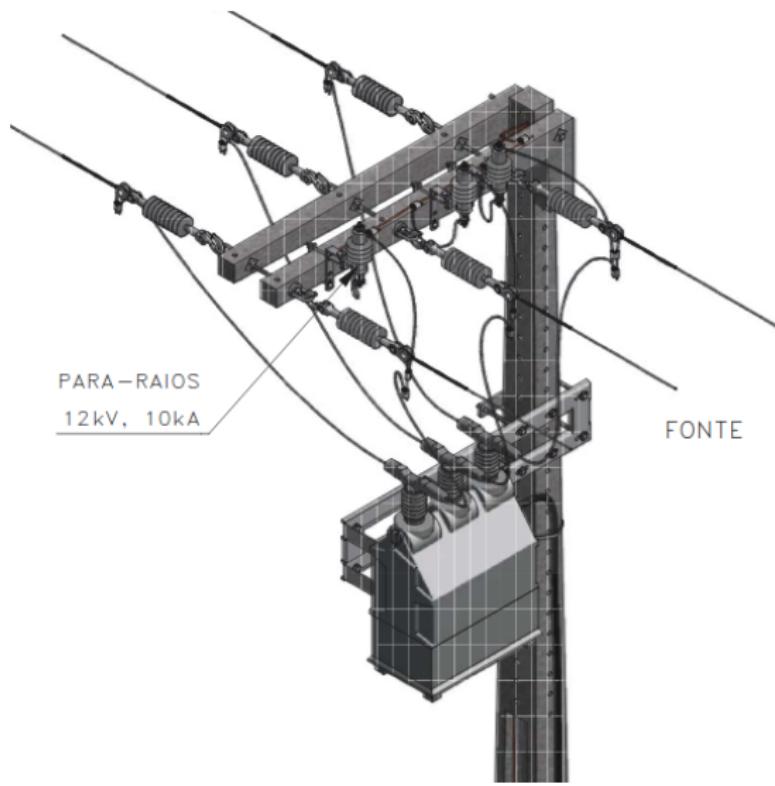
Em que  $FD$  é o fator de demanda  $FD = \frac{D_{max}}{S_{inst}}$  e  $FP$  é o fator de potência da instalação  $FP = \frac{P}{S}$ .

# Atendimento a grandes consumidores

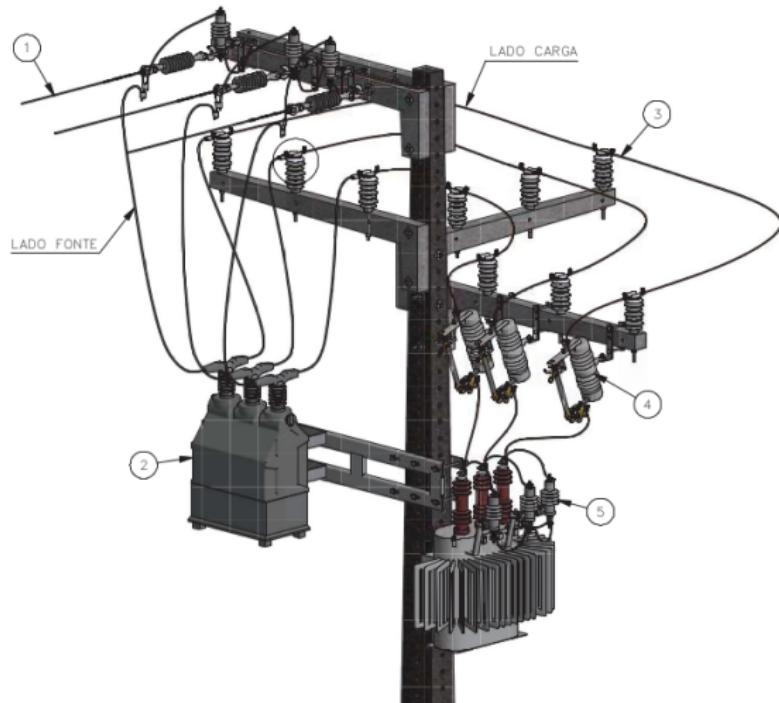
Quanto à proteção do transformador esta pode ser feita apenas com chave-fusível e para-raio no lado de MT caso a potência do transformador seja menor ou igual a 300kVA.

Caso seja solicitada uma demanda acima de 300 kVA o projeto da subestação deve apresentar além de chave fusível um disjuntor de média tensão comandado por relé de proteção digital que tenha as funções de proteção de sobrecorrente de fase e de neutro (50/51 e 50/51N).

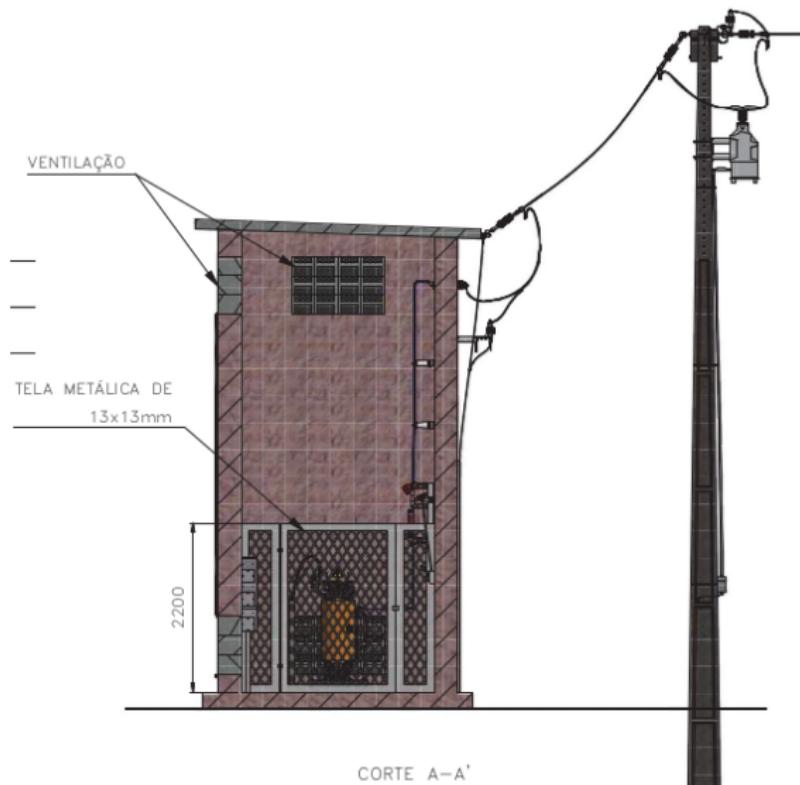
# Atendimento a grandes consumidores



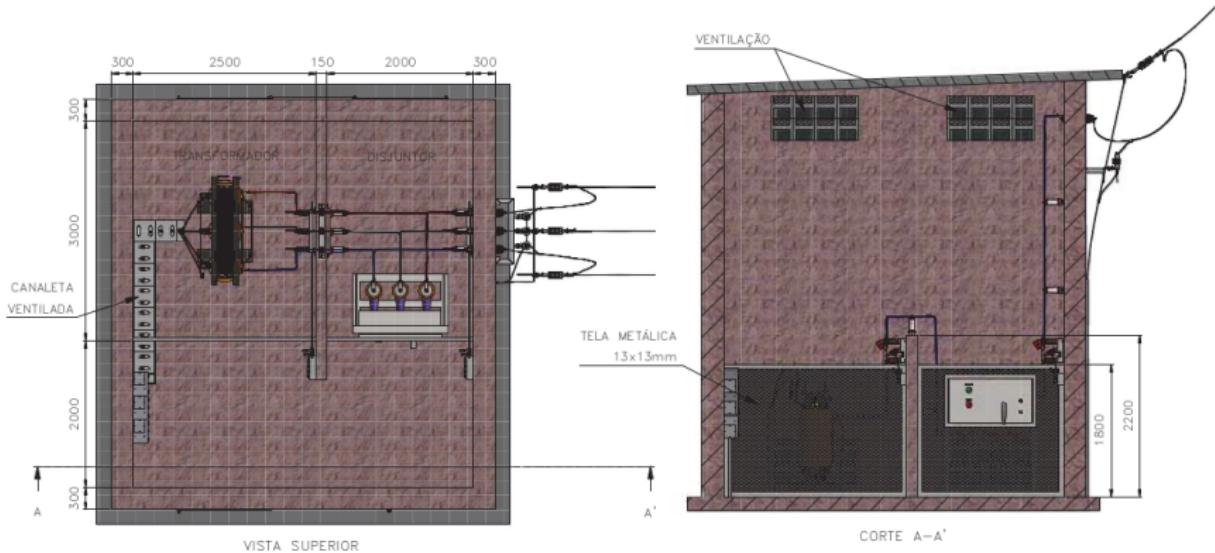
# Atendimento a grandes consumidores



# Atendimento a grandes consumidores



# Atendimento a grandes consumidores



# Passado e Futuro

