



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **MONOFÁSICO RETORNO PELA TERRA** **EXPERIÊNCIA DA COPEL**

**ANTONIO J. SYNARLE DE SERPA SOARES**  
**JEFERSON GRAHL SOARES**



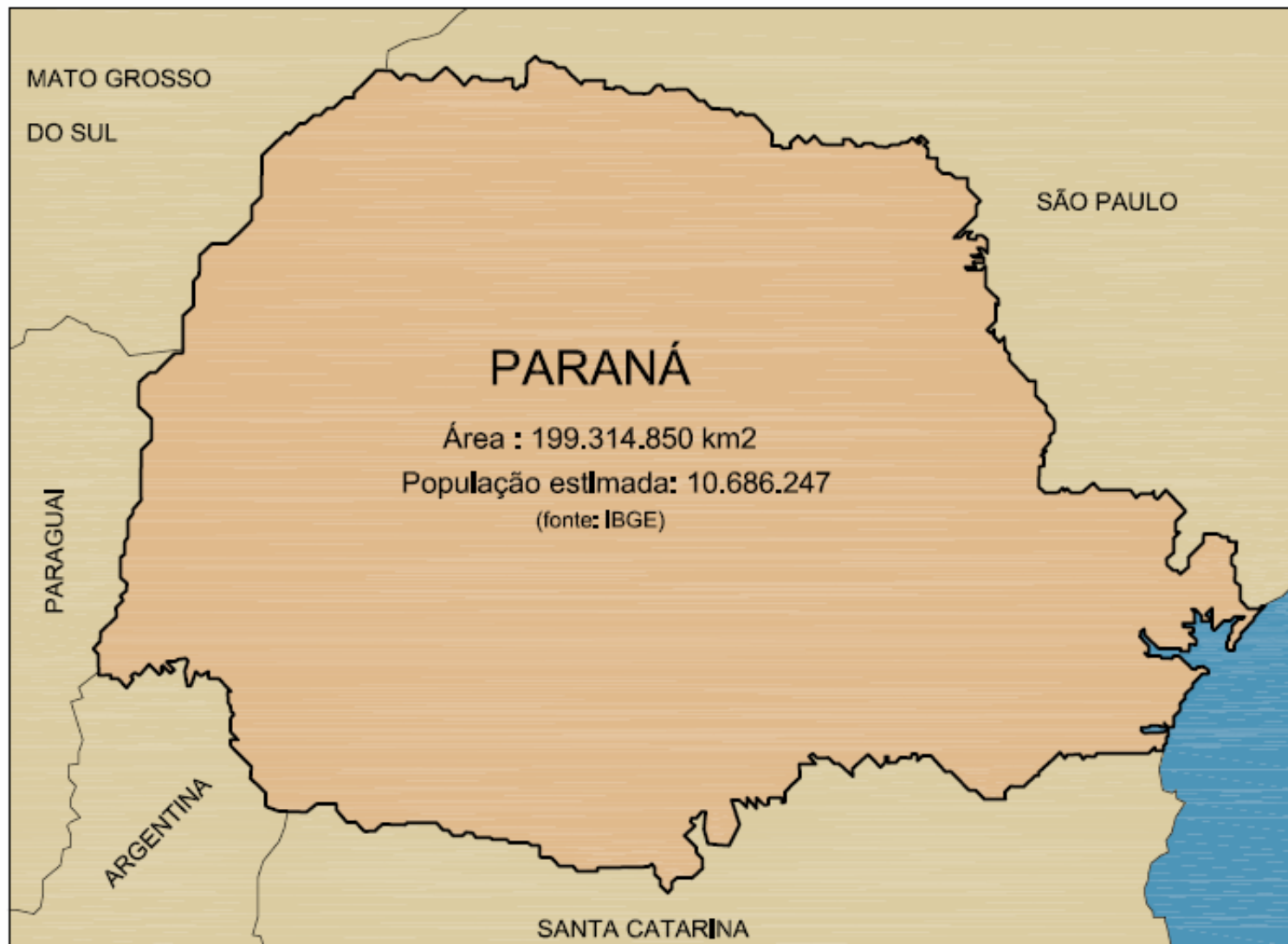


## **RESUMO DA APRESENTAÇÃO**

- 1. EVOLUÇÃO DA ELETRIFICAÇÃO RURAL NA COPEL**
- 2. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**
  - FONTE DE ORIGEM E REDES
  - EXTENSÃO DAS REDES
- 3. SISTEMA SWER / MRT**
  - RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO
  - CORRENTE CAPACITIVA DE TERRA E CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO
  - CUSTOS
  - EVOLUÇÃO
- 4. VARIANTES**
- 5. AVALIAÇÃO E CONCLUSÕES**



# COPEL Companhia Paranaense de Energia



## PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO PARANÁ (ANO DE 2007)

| <b>PRODUTO</b>   | <b>ÁREA (ha)</b> | <b>PRODUÇÃO (toneladas)</b> |
|------------------|------------------|-----------------------------|
| Algodão          | 1.125.256        | 4.110.822                   |
| Arroz em casca   | 2.890.926        | 11.060.741                  |
| Batata           | 147.719          | 3.550.511                   |
| Café beneficiado | 2.264.129        | 2.249.011                   |
| Cana de açúcar   | 7.080.920        | 549.707.314                 |
| Feijão           | 3.788.279        | 3.169.356                   |
| Mandioca         | 1.894.458        | 26.541.200                  |
| Milho            | 13.767.431       | 52.112.217                  |
| Soja             | 20.565.279       | 57.857.172                  |
| Trigo            | 1.933.331        | 4.297.928                   |

### **CRIAÇÕES**

### **NÚMERO DE CABEÇAS**

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Bovinos          | 10.048.000  |
| Suínos           | 4.258.000   |
| Frangos de corte | 142.763.000 |

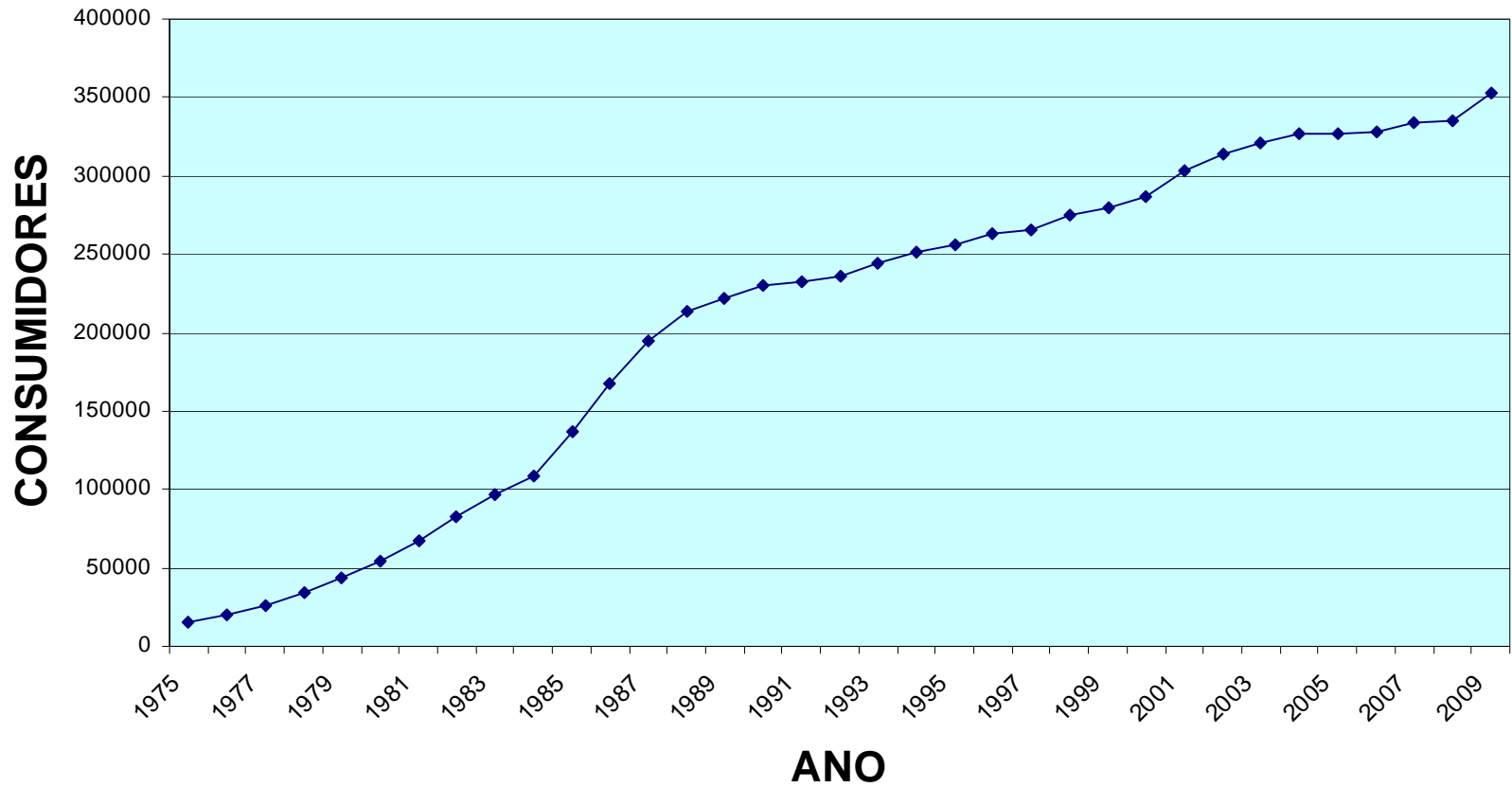
## EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE LIGAÇÕES RURAIS

| ANO  | CONSUMIDORES | ANO  | CONSUMIDORES |
|------|--------------|------|--------------|
| 1975 | 14992        | 1993 | 244374       |
| 1976 | 20236        | 1994 | 251860       |
| 1977 | 25606        | 1995 | 255738       |
| 1978 | 33707        | 1996 | 262725       |
| 1979 | 43689        | 1997 | 266070       |
| 1980 | 54141        | 1998 | 274802       |
| 1981 | 67180        | 1999 | 279932       |
| 1982 | 82730        | 2000 | 286710       |
| 1983 | 96362        | 2001 | 302767       |
| 1984 | 109016       | 2002 | 313642       |
| 1985 | 136654       | 2003 | 321491       |
| 1986 | 167632       | 2004 | 327097       |
| 1987 | 194491       | 2005 | 327363       |
| 1988 | 213558       | 2006 | 328469       |
| 1989 | 221941       | 2007 | 333567       |
| 1990 | 230033       | 2008 | 335666       |
| 1991 | 232209       | 2009 | 352952       |
| 1992 | 236368       |      |              |



**COPEL**  
Companhia Paranaense de Energia

## EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE CONSUMIDORES RURAIS





**CONSUMO DA COPEL EM 2009  
POR CLASSE DE CONSUMO**

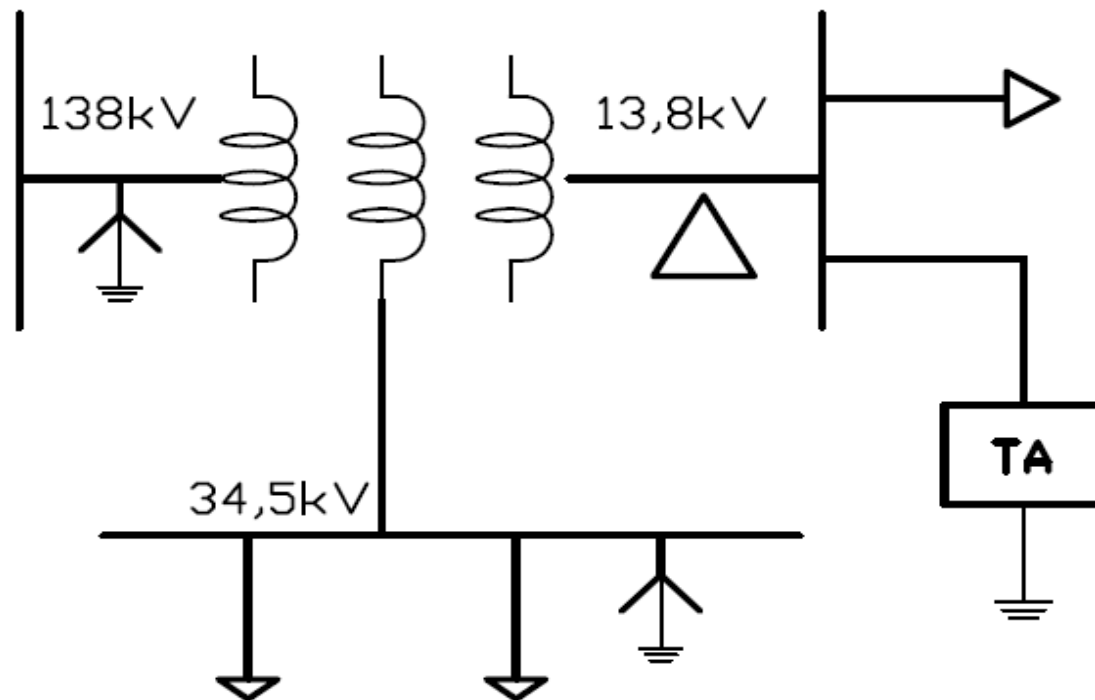
|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| <b>INDUSTRIAL</b>         | <b>33,12%</b> |
| <b>RESIDENCIAL</b>        | <b>27,98%</b> |
| <b>COMERCIAL</b>          | <b>20,75%</b> |
| <b>RURAL</b>              | <b>8,30%</b>  |
| <b>ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b> | <b>3,85%</b>  |
| <b>SERVIÇOS PÚBLICOS</b>  | <b>2,94%</b>  |
| <b>PODERES PÚBLICOS</b>   | <b>2,93%</b>  |
| <b>CONSUMO PRÓPRIO</b>    | <b>0,11%</b>  |



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**

### **1. TRANSFORMADOR DE CARGAS (AT/MT) DAS SUBESTAÇÕES**



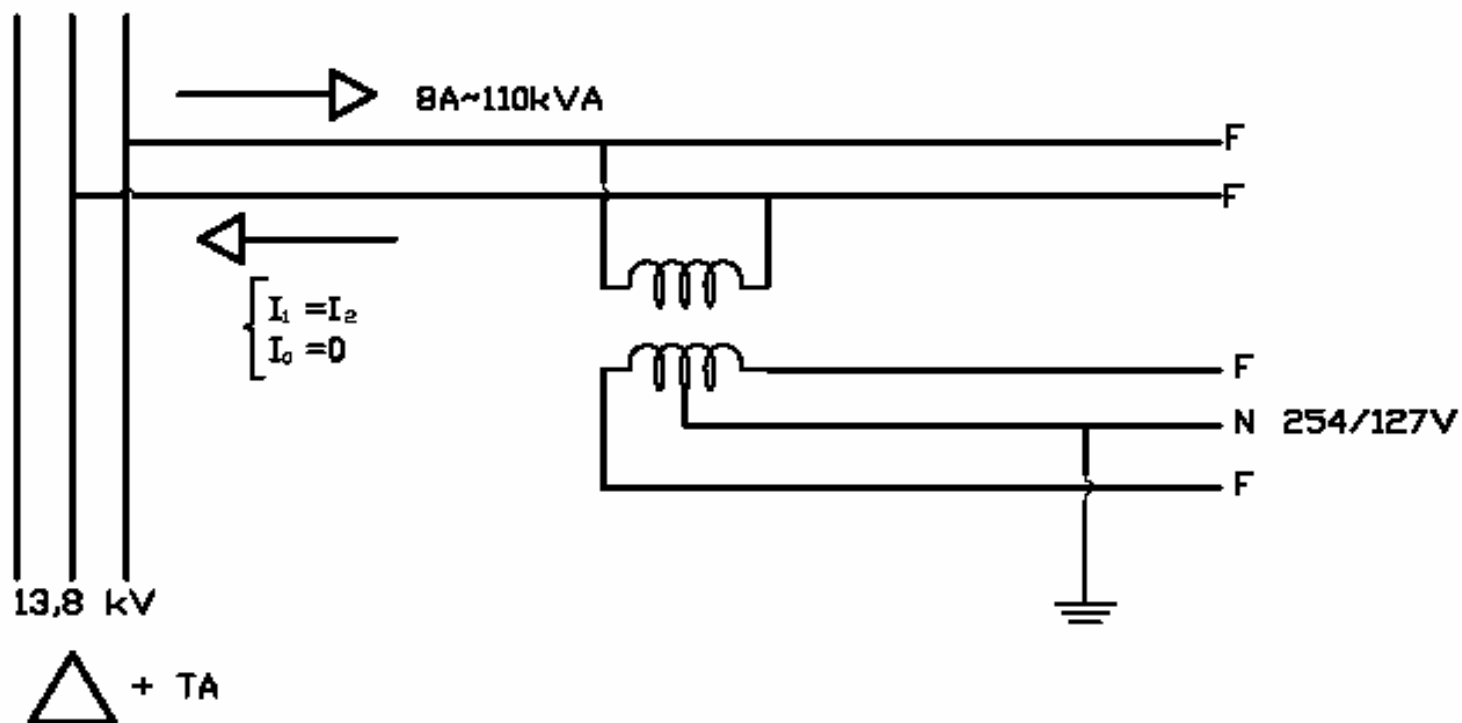




**COPEL**  
Companhia Paranaense de Energia

## SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL

### 2. DISTRIBUIÇÃO RURAL EM 13,8 kV

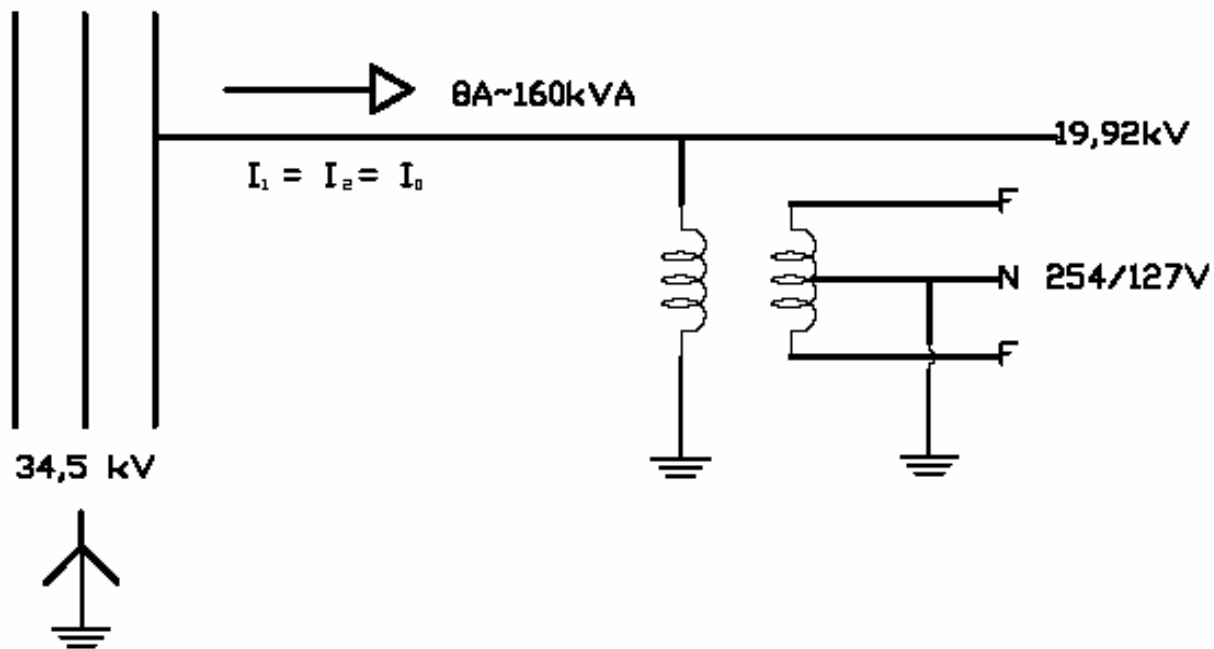




**COPEL**  
Companhia Paranaense de Energia

## SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL

### 3. DISTRIBUIÇÃO RURAL EM 34,5 kV





## **KM DE REDES EXISTENTES - ATÉ DEZEMBRO DE 2009**

| <b>TENSÃO</b>               | <b>No. FASES</b>  | <b>KM TOTAL</b> | <b>%</b>     |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| <b>13,8 kV</b>              | <b>BIFÁSICA</b>   | <b>59.872</b>   | <b>47,3</b>  |
| <b>13,8 kV</b>              | <b>TRIFÁSICA</b>  | <b>4.104</b>    | <b>3,3</b>   |
| <b>34,5 kV</b>              | <b>MONOFÁSICA</b> | <b>48.598</b>   | <b>38,4</b>  |
| <b>34,5 kV</b>              | <b>BIFÁSICA</b>   | <b>3.470</b>    | <b>2,7</b>   |
| <b>34,5 kV</b>              | <b>TRIFÁSICA</b>  | <b>1.508</b>    | <b>1,2</b>   |
| <b>BAIXA TENSÃO SIMPLES</b> |                   | <b>8.921</b>    | <b>7,1</b>   |
| <b>TOTAL - COPEL</b>        |                   | <b>126.473</b>  | <b>100,0</b> |



## **TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO – TOTAL EM DEZ/2009**

| <b>DESCRIÇÃO</b>             | <b>QUANTIDADE</b> | <b>MVA</b>       | <b>KVA/TRANSF.</b> |
|------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| RURAL                        | 259.311           | 3.618,40         | 13,95              |
| URBANO                       | 81.314            | 5.192,40         | 63,86              |
| <b>SUBTOTAL (1)</b>          | <b>340.625</b>    | <b>8.810,80</b>  | <b>25,97</b>       |
| SUBTERRÂNEO (2)              | 257               | 123,9            | 482,1              |
| <b>TOTAL COPEL (1)+(2)</b>   | <b>340.882</b>    | <b>8.934,70</b>  | <b>26,22</b>       |
| PARTICULARES (3)             | 26.371            | 5.545,70         | 210,3              |
| COOPERATIVAS (4)             | 3.962             | 76,6             | 19,33              |
| <b>TOTAL (1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>371.215</b>    | <b>14.557,00</b> | <b>39,31</b>       |



# COPEL

## Companhia Paranaense de Energia

### TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO - MONOFÁSICOS - DEZ/2009

| TOTAL                       | QUANTIDADE     | MVA            | kVA/TRANSF.  |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------------|
| RURAL (1)                   | 231.597        | 2.527,5        | 10,91        |
| URBANO (2)                  | 2.562          | 33,6           | 13,11        |
| COPEL (1)+(2)               | 234.159        | 2.561,2        | 10,94        |
| PARTICULARES (3)            | 1.859          | 24,9           | 13,39        |
| COOPERATIVAS (4)            | 2.685          | 32,4           | 12,07        |
| <b>TOTAL(1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>238.704</b> | <b>2.618,5</b> | <b>10,97</b> |

| 13,8 kV                     | QUANTIDADE     | MVA            | kVA/TRANSF.  |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------------|
| RURAL (1)                   | 117.752        | 1.284,6        | 10,91        |
| URBANO (2)                  | 1.647          | 21,0           | 12,75        |
| COPEL (1)+(2)               | 119.399        | 1.305,6        | 10,93        |
| PARTICULARES (3)            | 808            | 9,0            | 11,14        |
| COOPERATIVAS (4)            | 1.243          | 15,0           | 12,07        |
| <b>TOTAL(1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>121.450</b> | <b>1.329,6</b> | <b>10,95</b> |

| 34,5 kV                     | QUANTIDADE     | MVA            | kVA/TRANSF.  |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------------|
| RURAL (1)                   | 113.845        | 1.243,3        | 10,91        |
| URBANO (2)                  | 915            | 12,3           | 13,44        |
| COPEL (1)+(2)               | 114.760        | 1.255,6        | 10,94        |
| PARTICULARES (3)            | 1.051          | 15,5           | 14,75        |
| COOPERATIVAS (4)            | 1.443          | 17,5           | 12,13        |
| <b>TOTAL(1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>117.254</b> | <b>1.288,6</b> | <b>10,99</b> |



# COPEL

## Companhia Paranaense de Energia

### TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO TRIFÁSICOS - DEZ/2009

| TOTAL                       | QUANTIDADE     | MVA             | kVA/TRANSF.  |
|-----------------------------|----------------|-----------------|--------------|
| RURAL (1)                   | 27.714         | 1.090,9         | 39,36        |
| URBANO (2)                  | 79.009         | 5.282,7         | 66,86        |
| COPEL (1)+(2)               | 106.723        | 6.373,5         | 59,72        |
| PARTICULARES (3)            | 24.512         | 5.520,8         | 225,23       |
| COOPERATIVAS (4)            | 1.276          | 44,2            | 34,64        |
| <b>TOTAL(1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>132.511</b> | <b>11.938,5</b> | <b>90,09</b> |

| 13,8 kV                     | QUANTIDADE     | MVA             | kVA/TRANSF.  |
|-----------------------------|----------------|-----------------|--------------|
| RURAL (1)                   | 21.770         | 818,0           | 37,57        |
| URBANO (2)                  | 74.820         | 5.049,9         | 67,49        |
| COPEL (1)+(2)               | 96.590         | 5.867,9         | 60,75        |
| PARTICULARES (3)            | 21.942         | 4.607,6         | 209,99       |
| COOPERATIVAS (4)            | 1.044          | 31,1            | 28,88        |
| <b>TOTAL(1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>119.576</b> | <b>10.506,6</b> | <b>87,87</b> |

| 34,5 kV                     | QUANTIDADE    | MVA            | kVA/TRANSF.   |
|-----------------------------|---------------|----------------|---------------|
| RURAL (1)                   | 5.944         | 272,8          | 45,90         |
| URBANO (2)                  | 4.189         | 232,7          | 55,55         |
| COPEL (1)+(2)               | 10.133        | 505,5          | 49,89         |
| PARTICULARES (3)            | 2.570         | 913,2          | 355,33        |
| COOPERATIVAS (4)            | 232           | 13,1           | 56,46         |
| <b>TOTAL(1)+(2)+(3)+(4)</b> | <b>12.935</b> | <b>1.431,8</b> | <b>110,69</b> |



**SISTEMA MRT -  $34,5 / \sqrt{3}$  kV**

**RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO NOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO**

**INICIAL**

$$R_T \Leftrightarrow 10 \Omega$$

**1a. ALTERAÇÃO**

$$R_T \times I_N \Leftrightarrow 10 \text{ V}$$

**2a. ALTERAÇÃO**

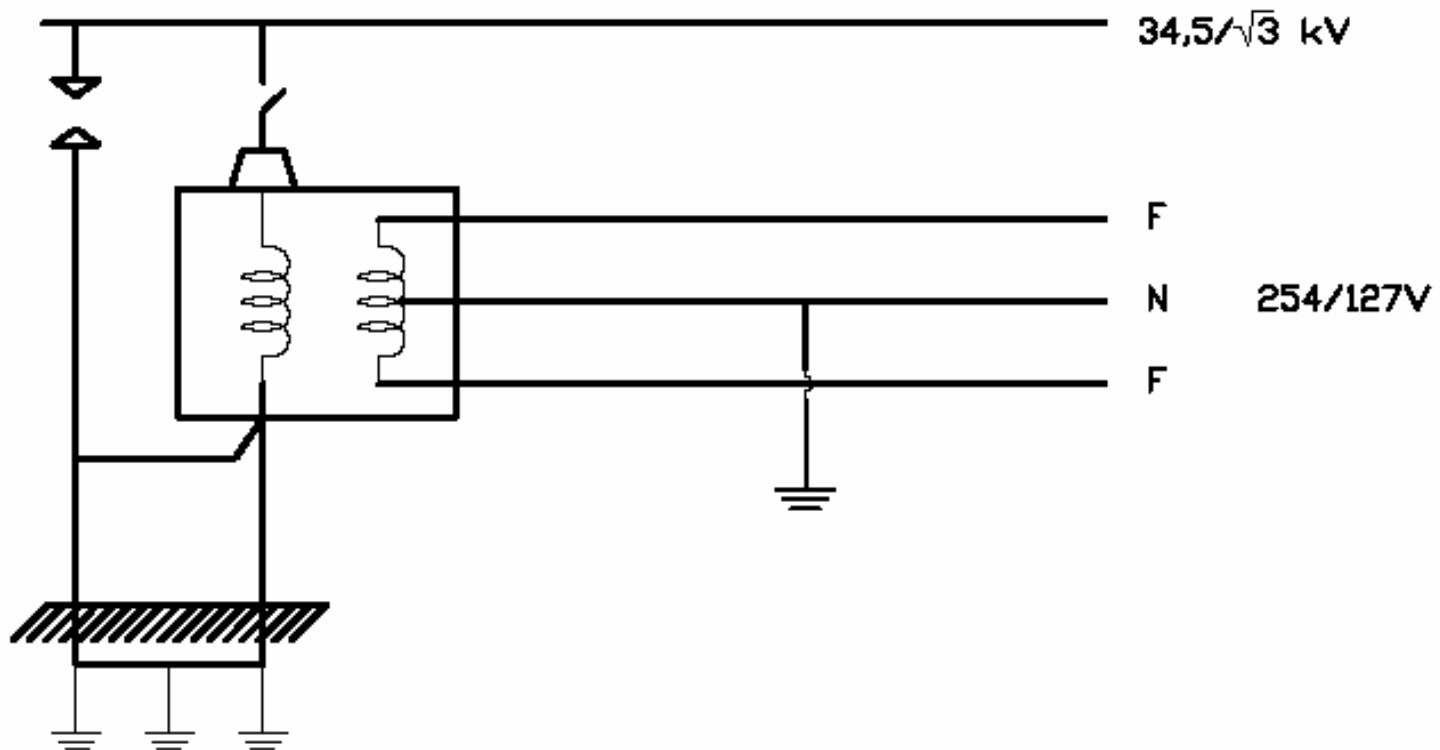
$$R_T \times I_N \Leftrightarrow \frac{40 \text{ V}}{1,5} \quad \text{E } R_T \leq 50 \Omega$$

**DUAS DESCIDAS INDEPENDENTES (AT)**



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **SISTEMA MRT - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS ATERRAMENTOS**

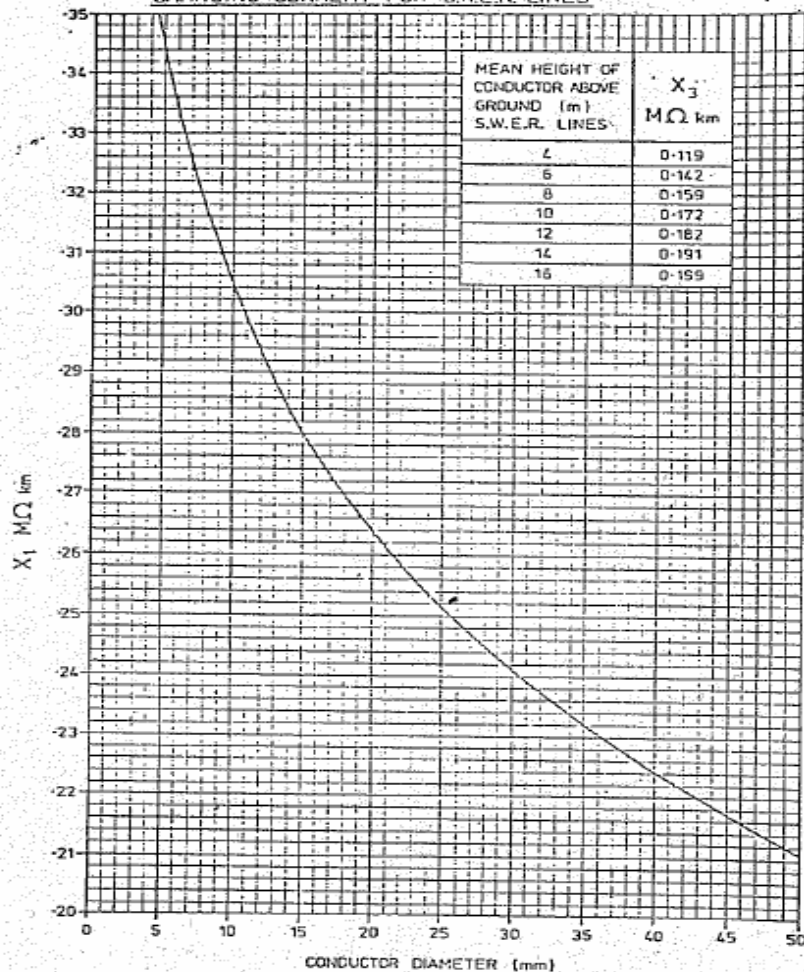






# COPEL Companhia Paranaense de Energia

CHARGING REACTANCE TO GROUND AND  
CHARGING CURRENT FOR S.W.E.R. LINES



$$I_C = \frac{E_{\phi-G} L}{X_g \times 10^6} \quad X_g = X_1 + X_3$$

WHERE  $I_C$  = CHARGING CURRENT (A)

$X_g$  = CHARGING REACTANCE (MΩ km)

$E_{\phi-G}$  = LINE TO GROUND VOLTAGE (V)

$L$  = LENGTH OF LINE (km)

EXAMPLE: CALCULATE CHARGING CURRENT FOR A 19.1 kV S.W.E.R. LINE 150 km LONG,  
3/2.75 STEEL CONDUCTOR, MEAN HEIGHT ABOVE GROUND = 6m  
CONDUCTOR DIAMETER = 5.93 mm

$X_1$  = 0.334 MΩ km (FROM GRAPH)

$X_3$  = 0.142 MΩ km (FROM TABLE)

$$\therefore I_C = \frac{19100 \times 150}{10^6 \times (0.334 + 0.142)} = 6 \text{ A}$$



## **CORRENTE CAPACITIVA DE TERRA**

### **LINHA MRT – CONDUTOR AÇO 3 /2,25**

- Condutor aço 3/2,25 – altura média condutor/solo : 6 m

$$C = 0,334 \times 10^6 + 0,142 \times 10^6 = 0,476 \text{ M OHM / km}$$

| <u>TENSÃO (kV)</u> | <u>CORRENTE (mA/km)</u> |
|--------------------|-------------------------|
| 7,62               | 16                      |
| 13,20              | 28                      |
| 19,05              | 40                      |



## **CORRENTE DE MAGNETIZAÇÃO**

### **TRANSFORMADOR DE 10 kVA**

- Tensão de ensaio :  $V_E = 33 \sqrt{3} = 19,05 \text{ kV}$
- Corrente nominal :  $I_N = 10.000 / 19,052 = 525 \text{ mA}$
- Corrente de magnetização (~34kV) ~ 11,5 mA (60 C/S)
- Corrente de magnetização (~34kV) ~ 6 mA (180 C/S)

### **EXEMPLO : SE FOZ DO IGUAÇU**

#### **Terceira harmônica no aterramento da barra de 34,5 kV**

- Tensão nominal : 3,6 A
- Tensão elevada : 4,3 A



## **EXEMPLO DE REGULAÇÃO DE TENSÃO (Austrália)**

**LINHA SWER 12,7 kV**

- Condutores : 3 / 4 / 1,75 ACSR (30 km) + 3 / 2,75 AÇO (20 km);
- Consumidores : 35 (transf. 5 kVA) : Demanda : **X** kVA / consumidor.

|       | <u>SEM <math>I_c</math></u> | <u>COM <math>I_c</math></u> |
|-------|-----------------------------|-----------------------------|
| Vazio | 12.700 V                    | 12.804 V                    |
| Carga | 12.085 V                    | 12.189 V                    |

$I_c$  = Corrente capacitiva de terra



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **TRANSFORMADOR DE ISOLAMENTO - 13,8 / 19,92 kV**

### **VANTAGENS**

**CUSTO LDR 13,8 kV - F/F → 34,5 kV - MRT**  
**ELIMINA SEQÜÊNCIA ZERO NO TRONCO**

### **DESVANTAGENS**

**CUSTO DO TRANSFORMADOR DE ISOLAMENTO**  
**CUSTO DOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO**

---

**CONCLUSÃO**

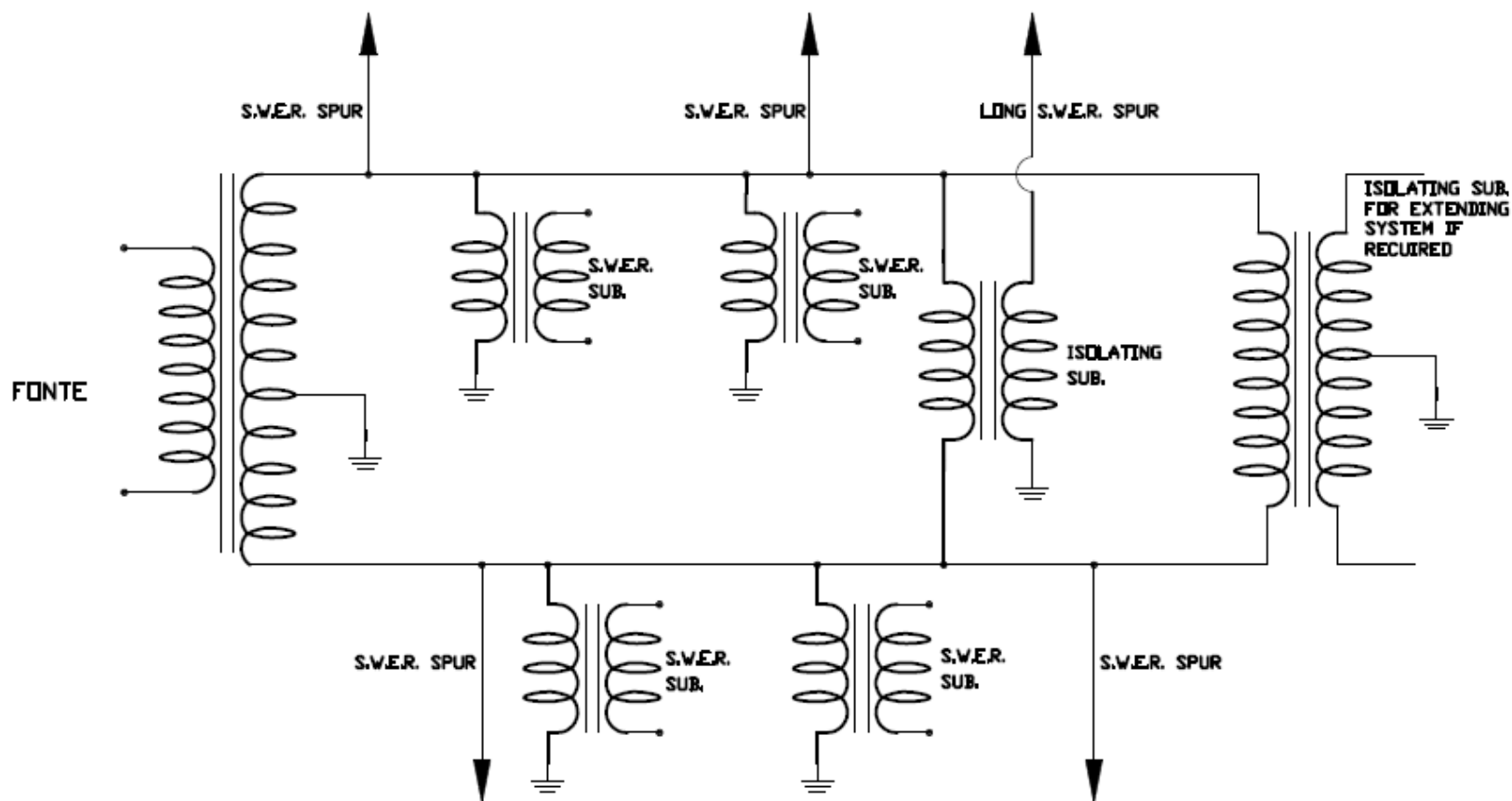
**NÃO**

---



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

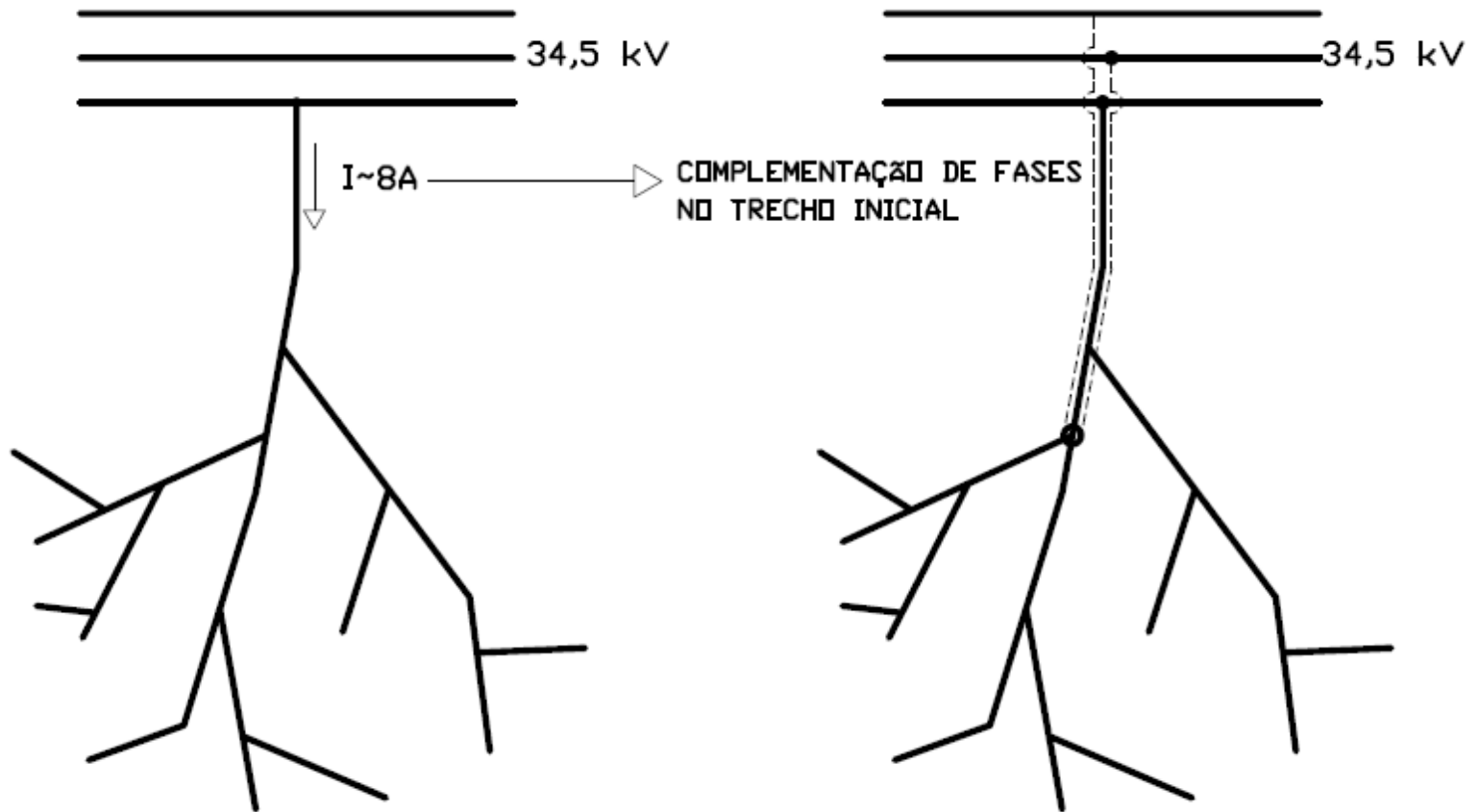
## SISTEMA DUPLEX





**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **EVOLUÇÃO AUMENTO DE CARGA**





**MELHORIA DE DESEMPENHO  
(REDUÇÃO DE INTERRUPÇÕES E DO CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO)**

**FASE INICIAL  
(CUSTOS BAIXOS)**

**Condutores de aço**

**Descarregadores de chifre**

**Isoladores monocorpo**

**Aterramento único**

**Mola desligadora com elo olhal**

**Transformadores de 3 e 5kVA**

**FASE ATUAL  
(DESEMPENHO)**

**Condutores de alumínio/aço**

**Para raios**

**Isoladores de pedestal**

**Aterramentos separados**

**Chave**

**Potência mínima 10 kVA**





## **SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**

### **4. CUSTOS**

#### **LINHAS (CUSTOS EM R\$ POR QUILOMETRO)**

**34,5 kV - MONOFÁSICA - 9.107,96 - 100,0 %**  
**TRIFÁSICA - 16.342,35 - 179,4 %**

**13,8 kV - MONOFÁSICA - 12.037,91 - 132,2 %**  
**TRIFÁSICA - 14.664,80 - 161,0 %**

#### **POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO (CUSTOS EM R\$ POR UNIDADE)**

**34,5 kV - 10 kVA - 4.690,25 - 100,0 %**  
**13,8 kV - 10 kVA - 5.172,19 - 119,3 %**



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO RURAL**

### **5. FORMA DE ESCOLHA**

**TRIFÁSICO x MONOFÁSICO : NECESSIDADE DO CONSUMIDOR  
LIMITE 8 A (MONO)**

**34,5 kV x 13,8 kV : DISPONÍVEL NA ÁREA**

---

**PREFERÊNCIA**

**34,5 kV MONOFÁSICO**

---



**COPEL**  
**Companhia Paranaense de Energia**

## **SISTEMA MRT**

### **AVALIAÇÃO / CONCLUSÕES**

**CONSIDERANDO : CUSTOS  
CAPACIDADE  
FACILIDADE DE EVOLUÇÃO  
QUEDA DE TENSÃO  
SEGURANÇA**

**A COPEL MANTÉM A PREFERÊNCIA PELO SISTEMA  
MRT 34,5 /  $\sqrt{3}$  kV NOS ATUAIS PROGRAMAS DE  
ELETRIFICAÇÃO RURAL**