

# **LOCALIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES EM SISTEMAS ASSOCIADOS DE DISTRIBUIÇÃO NA ZONA RURAL**

**Cezar Piedade Jr. (1)  
Wesley Jorge Freire (1)**

## **INTRODUÇÃO**

Uma fonte de energia elétrica deve ser localizada o mais próximo possível do local de consumo, para reduzir as quedas de tensões e instalações onerosas.

No meio rural a energia sempre é fornecida através de um transformador, que alimenta cargas com diversas características, localizadas sem qualquer simetria, razão pela qual a localização do transformador passa a ter significativa importância.

Os métodos empregados para a determinação do centro de carga, onde o transformador deverá ser instalado, levam em consideração as potências instaladas e as distâncias dos pontos de consumo, relacionados a um par de eixos ortogonais, segundo os mesmos critérios adotados por COSTA (1974) para o estabelecimento do centro de gravidade de figuras planas.

Existem dois processos que são usualmente empregados: o analítico, conforme sugere BROWN (1956), e o gráfico, indicado por PIEDADE JR. (1979). Ambas as soluções conduzem ao mesmo resultado.

---

(1) Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu.

Dos transformadores partem os alimentadores que, para um determinado sistema elétrico rural, devem atender aos critérios normativos de seleção, que são baseados em três parâmetros técnicos:

- critério da densidade econômica de corrente;
- critério da queda de tensão limite;
- critério da máxima elevação de temperatura.

O primeiro critério é considerado por LIPKIN (1972) e os dois últimos são adotados pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1960).

Os dois métodos considerados anteriormente são úteis e têm a sua maior aplicação em países onde se utiliza um sistema uniforme de distribuição rural, fato que não ocorre na maioria das propriedades rurais de nosso Estado, resultando desse fato uma série de erros, cujas causas e consequências são examinadas no presente trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1960), define as correntes máximas admissíveis para os diversos condutores elétricos de cobre, em função de seu ambiente de instalação.

Foram considerados condutores de n.º 14 a 2 AWG e suas respectivas correntes admissíveis; pôde-se estabelecer, para os sistemas monofásicos e trifásicos, a potência ativa que cada condutor poderia transmitir, na tensão de 220 volts, aplicando-se as fórmulas (1) e (2):

$$P_1 = V.I \dots\dots\dots(1)$$

$$P_3 = \sqrt{3} . V.I \dots\dots\dots(2)$$

onde:  $P_1$  = potência monofásica, em watts;

$P_3$  = potência trifásica, em watts;

$V$  = tensão, em volts;

$I$  = corrente, em ampéres.

Considerando-se, para os condutores enumerados, um circuito de 100 m de comprimento, calculou-se a queda de tensão resultante quando pelos mesmos circulava a corrente nominal, nos sistemas monofásicos e trifásicos, pelo emprego das fórmulas (3) e (4):

$$\Delta V_1 = 2R \cdot \ell \cdot I \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta V_3 = \sqrt{3} \cdot R \cdot \ell \cdot I \dots\dots\dots(4)$$

onde:  $\Delta V_1$  = queda de tensão monofásica, em volts;  
 $\Delta V_3$  = queda de tensão trifásica, em volts;  
 $R$  = resistência ôhmica do condutor, em  $\Omega/m$ ;  
 $\ell$  = comprimento do circuito, em metros;  
 $I$  = corrente nominal do condutor, em ampéres.

A definição desses elementos permitiu estabelecer, mediante análise de regressão onde foram pesquisadas seis equações típicas, as funções  $P = f(C)$  e  $P = f(\Delta V)$ , onde  $C$  é a bitola do condutor que melhor se ajustou aos dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro I estão expressos os valores extraídos da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1960) e os valores calculados conforme os procedimentos comentados no capítulo anterior.

Na figura 1 estão ajustadas, mediante curvas de regressão, as funções  $P = f(C)$ , para os sistemas monofásicos e trifásicos.

As duas funções contidas na figura 1 demonstram uma tendência de aumentar diretamente as diferenças entre as potências transportadas nos dois sistemas, em relação às seções dos condutores.

Em decorrência desse fato, o erro cometido na localização de transformadores, em sistemas que associam cargas monofásicas e trifásicas, aumenta com o acréscimo do consumo.

Tomando-se como referência o condutor n.º 6 AWG que transportasse uma carga monofásica e outra trifásica, de acordo com a sua capacidade nominal de 22,00 e 38,10 kW, respectivamente, o transformador que alimentasse tal sistema, seguindo os critérios de centro de carga, seria deslocado para as proximidades da carga maior, induzindo a um erro que sobrecarregaria o circuito monofásico.

QUADRO I. Valores de bitola, quedas de tensão e potência, para circuitos monofásicos e trifásicos, 220 volts.

Condutor (AWG)	Potência distribuída (kW)		Queda de tensão (V)	
	Monofásica	Trifásica	Monofásica	Trifásica
14	6,60	11,40	51,42	44,53
12	8,80	15,20	43,04	37,27
10	12,10	20,90	37,29	32,29
8	15,40	26,70	29,82	25,82
6	22,00	38,10	26,80	23,21
4	28,60	49,50	21,92	18,98
2	38,50	66,70	18,55	16,06

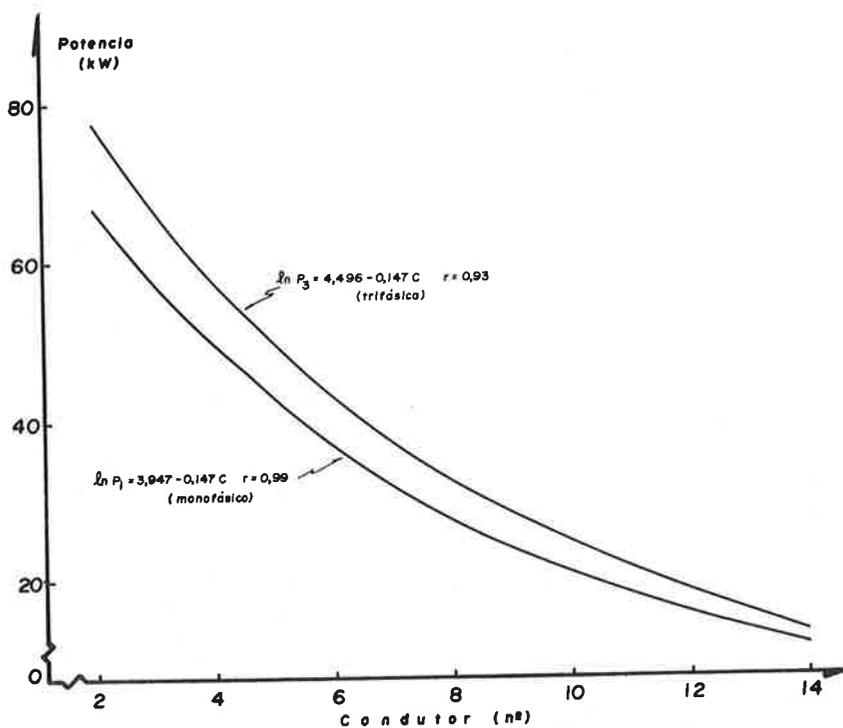


FIGURA 1. Curvas de regressão das funções  $P = f(C)$

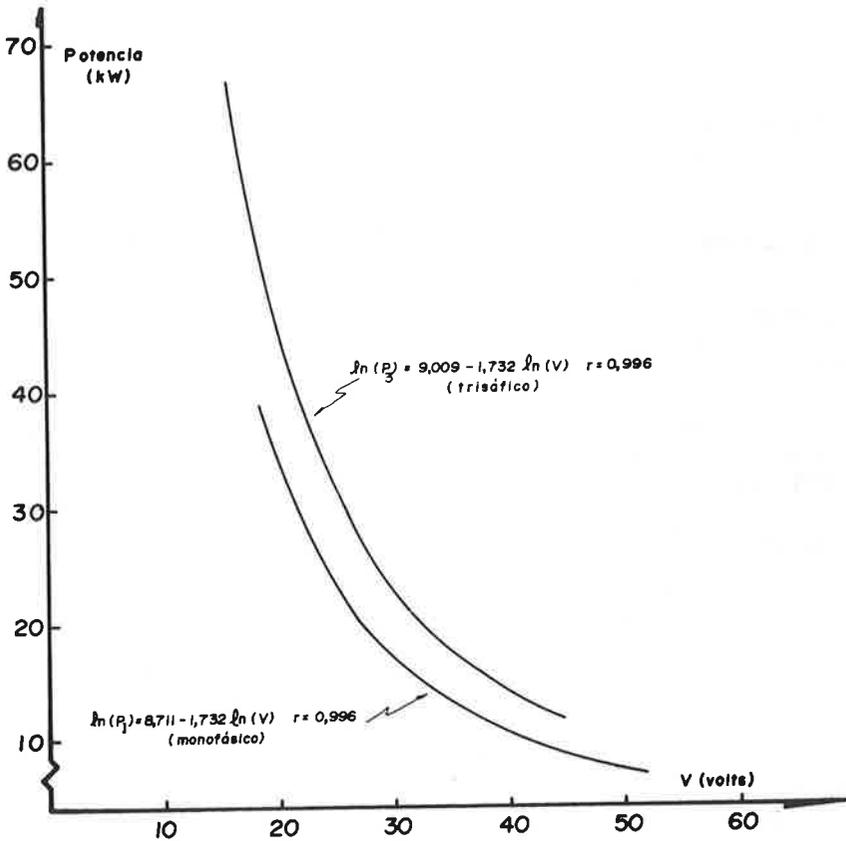


FIGURA 2. Curva de regressão das funções  $P = f(\Delta V)$

Levando-se em conta as consequências da queda de tensão e tomando-se as capacidades nominais de carga de cada condutor, referidas a circuitos monofásicos e trifásicos de 100 metros de comprimento, pode-se definir, pelas expressões (3) e (4), as funções  $P = f(\Delta V)$ , para os dois sistemas indicados na figura 2, mediante curvas de regressão.

Observa-se, na figura 2 que, para uma mesma queda de tensão, as capacidades de transmissão dos circuitos são bem diferentes; assim, o condutor n.º 2 AWG pode transmitir 66,68 kW com uma queda de tensão de 16,06 volts no sistema trifásico. Para o sistema monofásico esse condutor pode transportar 38,5 kW com uma queda de tensão de 18,55 volts.

Dentro desse contexto, a escolha do centro de carga, nos moldes adotados, deslocaria o transformador para as proximidades da carga maior, sobrecarregando o circuito monofásico, que passaria a ser mais extenso.

A forma de reparar esses erros seria corrigindo o comprimento de um dos circuitos, mediante a aplicação de um fator de correção que resultasse das condições de igualdade de quedas de tensão, impostas pelas expressões (3) e (4).

Assim, se a condição imposta fosse a da igualdade de quedas de tensão, o fator de correção a ser aplicado ao comprimento do circuito monofásico assumiria o valor  $\frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \ell_1 / \ell_2$ .

A relação entre correntes, no fator de correção, é aplicável quando os condutores dos sistemas forem diferentes, portanto com capacidades de condução diferentes.

O fator de correção, da forma como foi calculado, é aplicado ao comprimento do circuito monofásico, visando sua redução.

## RESUMO

A localização de transformadores no meio rural é feita pela determinação do centro de carga da instalação, mediante o uso de métodos gráficos ou analíticos.

Esse procedimento é útil e preciso em locais onde são adotadas formas de distribuição única, como, por exemplo, os sistemas derivados da Eletrificação Rural adotada nos Estados Unidos a partir de 1935.

Em locais onde a distribuição associa sistemas monofásicos e trifásicos, a simples adoção do centro de carga, pelos métodos convencionais de cálculo, conduz a erros decorrentes das diferentes capacidades de transmissão e distribuição que os sistemas podem suportar.

No presente trabalho foram ajustadas, para os condutores usuais nos sistemas rurais de baixa tensão, curvas de regressão para as funções  $P = f(C)$  e  $P = f(\Delta V)$ , onde  $P$  é a potência em kW que um condutor pode transmitir,  $C$  é a bitola do condutor e  $\Delta V$  o valor da queda de tensão em volts.

A análise das funções ajustadas permitiu estabelecer coeficientes de correção para os métodos gráficos e analíticos de cálculo do centro de carga.

## SUMMARY

### LOCALIZATION OF TRANSFORMERS IN ASSOCIATED SYSTEMS IN RURAL AREAS

In a balanced three — phase system, the power delivered to and taken by each line is the same:  $P_3 = \sqrt{3} \cdot I\ell_3 \cdot V\ell_3 \cdot \cos\phi$  (watts), where  $I\ell_3$  and  $V\ell_3$  are line current and voltage. The true power of a single phase alternating current is given by  $P_1 = I\ell_1 \cdot V\ell_1 \cdot \cos\phi$ , where  $I\ell_1$  and  $V\ell_1$  are line current and voltage.

The current flowing in the circuit is directly proportional to the applied voltage and inversely proportional to the resistance. If the line voltages are equal, the same power in the two systems results in different currents, for this reason the full utilization of the energy convertible by the transformer localized by "load center" induces to mistake.

This research was carried out to establish the reason of the mistake and to define correction factor.

## LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-3, 1960. Execução de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Rio de Janeiro, 51p.
- BROWN, R.H. 1956. *Farm electrification*, New York, McGraw Hill, 367p.
- COSTA, E.V., 1974. *Curso de resistência dos materiais com elementos de grafostática e de energia de deformação*, São Paulo, Editora Nacional, 252p. (V.1)
- LIPKIN, B.Y., 1972. *Electrical equipment for industry*, Moscou, Higher School Publishing House, 277p.
- PIECADE JR., C., 1979. *Eletrificação Rural*, São Paulo, Livraria Nobel S/A., 280p.