

Análise de viabilidade de reforma de transformadores ou aquisição de novos utilizando o Anexo F da ABNT NBR 5440:2014 – ID 6615

Autor: Huederson Botura

Empresa: CPFL



Realization:

instituto
abradee



Host Company:

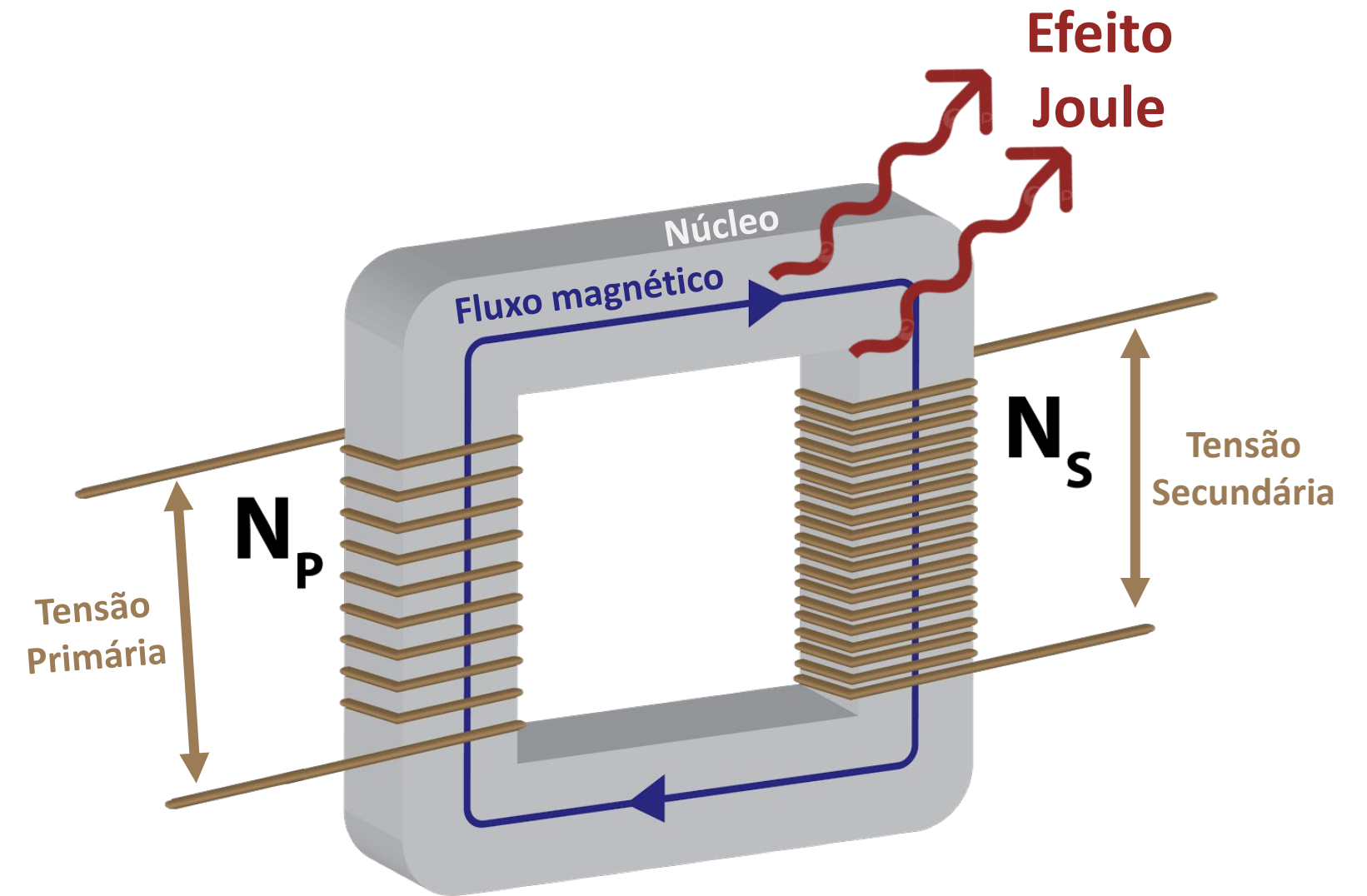
CEMIG



SENDI
2025
BELO HORIZONTE

INTRODUÇÃO

- Conceito;
- Transformador ideal;
- Perdas em vazio;
- Perdas totais.



REGULAMENTAÇÃO

- Lei nº 10.295 – 17 de outubro de 2001;
- Decreto nº 4.059 – 19 de dezembro de 2001;
- Decreto nº 4.508 – 11 de dezembro de 2022;
- Portaria interministerial nº 104 – 22 de março de 2013;
- Portaria interministerial nº 3 – 31 de julho de 2018;
- ABNT NBR 5440:2014.



ABNT NBR 5440:2014

Anexo F: Capitalização de perdas

$$C_c = C_t + A \times P_0 + B \times P_k$$

$$A = \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times C_{kWh} \times 8.760$$

$$B = \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times B_{kWh} \times 8.760 \times \left(\frac{I_L}{I_r} \right)^2$$

Onde:

C_c é o custo capitalizado (R\$)

C_t é o preço de compra (R\$)

A é o custo das perdas em vazio (R\$)

P_0 é o valor das perdas em vazio (kW)

B é o custo das perdas em cargas (R\$)

P_k é o valor das perdas em cargas (kW)

i é a taxa de desconto (%/ano)

n é a vida útil (anos)

C_{kWh} é o preço do quilowatt-hora para perdas a vazio (R\$/kWh)

B_{kWh} é o preço do quilowatt-hora para perdas em carga (R\$/kWh)

I_L é a corrente média de carga (A)

I_r é a corrente nominal (A)

Realization:

HostCompany:

ABNT NBR 5440:2014

Anexo F: Capitalização de perdas

$$C_c = C_t + A \times P_0 + B \times P_k$$

$$A = \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times C_{kWh} \times 8.760$$

$$B = \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times B_{kWh} \times 8.760 \times \left(\frac{I_L}{I_r}\right)^2 \quad L_t = \frac{I_L}{I_r}$$

$$C_c = C_t + \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times C_{kWh} \times 8.760 \times P_0 + \frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times B_{kWh} \times 8.760 \times (L_t)^2 \times P_k$$

$$C_c = C_t + \left(\frac{(1 + i)^n - 1}{i \times (1 + i)^n} \times C_{kWh} \times 8.760 \times (P_0 + (L_t)^2 \times P_k) \right)$$

Realization:

HostCompany:

DADOS DE REFERÊNCIA



- Taxa de desconto anual: 7,42 %;
- Preço do quilo-watt: R\$ 255,02 / MWh (custo médio geral de energia homologado no RTA/2024 com próximo reajuste em 08 de abril de 2025);
- Vida útil do equipamento: conforme MCPSE da ANEEL;
- Carregamento médio do transformador: 50 %;
- Vida útil do transformador reformado é igual a vida útil do transformador novo e ambos atendem ao MCPSE;
- Valores de perdas a vazio e em carga: obtidas através da ABNT NBR 5440 em suas diversas revisões e descritas nas tabelas abaixo.

Realization:



HostCompany:

CENÁRIOS ESTUDADOS

- **Situação 1:** Reformar transformador com perdas compatíveis com a ABNT NBR 5440:1987 x comprar transformador novo imerso em óleo vegetal contendo classe C de eficiência conforme ABNT NBR 5440:2014;
- **Situação 2:** Reformar transformador com perdas compatíveis com a ABNT NBR 5440:1999 x comprar transformador novo imerso em óleo vegetal contendo classe C de eficiência conforme ABNT NBR 5440:2014;
- **Situação 3:** Reformar transformador com perdas compatíveis com a ABNT NBR 5440:2011 ou classe de eficiência E da ABNT NBR 5440:2014 x comprar transformador novo imerso em óleo vegetal contendo classe C de eficiência conforme ABNT NBR 5440:2014;
- **Situação 4:** Reformar transformador com perdas compatíveis com a classe de eficiência D da ABNT NBR 5440:2014 x comprar transformador novo imerso em óleo vegetal contendo classe C de eficiência conforme ABNT NBR 5440:2014.

RESULTADOS

Viabilidade de reforma de transformadores imersos em óleo VEGETAL

Tipo	Classe de Tensão (kV)	Potência (kVA)	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4
Trifásico	15	15	R\$ 1.995,52	R\$ 1.480,54	R\$ 997,76	R\$ 547,16
Trifásico	15	30	R\$ 3.089,83	R\$ 2.317,37	R\$ 1.641,47	R\$ 836,83
Trifásico	15	45	R\$ 4.119,78	R\$ 3.089,83	R\$ 2.253,00	R\$ 1.190,87
Trifásico	15	75	R\$ 5.986,55	R\$ 4.441,63	R\$ 3.282,95	R\$ 1.641,47
Trifásico	15	112,5	R\$ 8.046,44	R\$ 5.986,55	R\$ 4.377,26	R\$ 2.124,26
Trifásico	15	150	R\$ 9.913,21	R\$ 7.338,35	R\$ 5.535,95	R\$ 2.832,35
Trifásico	15	225	R\$ 14.547,96	R\$ 11.071,90	R\$ 7.531,46	R\$ 3.765,73
Trifásico	15	300	R\$ 18.088,39	R\$ 13.711,13	R\$ 9.398,24	R\$ 4.763,49
Trifásico	24,2	15	R\$ 2.253,00	R\$ 1.738,03	R\$ 1.255,24	R\$ 450,60
Trifásico	24,2	30	R\$ 3.669,18	R\$ 2.767,97	R\$ 2.156,45	R\$ 965,57
Trifásico	24,2	45	R\$ 4.827,86	R\$ 3.797,92	R\$ 2.703,60	R\$ 1.190,87
Trifásico	24,2	75	R\$ 6.984,31	R\$ 5.310,65	R\$ 3.894,48	R\$ 1.705,84
Trifásico	24,2	112,5	R\$ 9.655,72	R\$ 7.467,09	R\$ 5.375,02	R\$ 2.381,75
Trifásico	24,2	150	R\$ 11.940,91	R\$ 9.237,31	R\$ 6.565,89	R\$ 2.896,72
Trifásico	24,2	225	R\$ 15.642,27	R\$ 11.779,98	R\$ 9.140,75	R\$ 3.926,66
Trifásico	24,2	300	R\$ 19.955,16	R\$ 15.320,42	R\$ 10.621,30	R\$ 4.827,86
Monofásico	15	5	R\$ 933,39	R\$ 804,64	R\$ 386,23	R\$ 193,11
Monofásico	15	10	R\$ 1.029,94	R\$ 772,46	R\$ 482,79	R\$ 257,49
Monofásico	15	15	R\$ 1.609,29	R\$ 1.223,06	R\$ 675,90	R\$ 386,23
Monofásico	15	25	R\$ 2.285,19	R\$ 1.770,22	R\$ 933,39	R\$ 450,60
Monofásico	15	37,5	R\$ 2.703,60	R\$ 1.931,14	R\$ 1.223,06	R\$ 547,16
Monofásico	15	50	R\$ 3.154,20	R\$ 2.381,75	R\$ 1.577,10	R\$ 836,83
Monofásico	15	75	R\$ 3.862,29	R\$ 2.832,35	R\$ 2.027,70	R\$ 997,76
Monofásico	15	100	R\$ 4.731,30	R\$ 3.443,87	R\$ 2.607,05	R\$ 1.287,43
Monofásico	24,2	5	R\$ 933,39	R\$ 675,90	R\$ 386,23	R\$ 193,11
Monofásico	24,2	10	R\$ 1.287,43	R\$ 901,20	R\$ 482,79	R\$ 225,30
Monofásico	24,2	15	R\$ 1.577,10	R\$ 1.190,87	R\$ 708,09	R\$ 418,41
Monofásico	24,2	25	R\$ 2.446,12	R\$ 1.931,14	R\$ 965,57	R\$ 482,79
Monofásico	24,2	37,5	R\$ 3.122,02	R\$ 2.220,82	R\$ 1.512,73	R\$ 708,09
Monofásico	24,2	50	R\$ 3.636,99	R\$ 2.735,79	R\$ 1.834,59	R\$ 933,39
Monofásico	24,2	75	R\$ 4.055,40	R\$ 3.025,46	R\$ 2.220,82	R\$ 1.158,69
Monofásico	24,2	100	R\$ 4.956,60	R\$ 3.669,18	R\$ 2.832,35	R\$ 1.448,36

Viabilidade de reforma de transformadores imersos em óleo MINERAL

Tipo	Classe de Tensão (kV)	Potência (kVA)	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4
Trifásico	15	15	R\$ 1.857,99	R\$ 1.356,44	R\$ 886,23	R\$ 447,37
Trifásico	15	30	R\$ 2.860,06	R\$ 2.107,73	R\$ 1.449,44	R\$ 665,76
Trifásico	15	45	R\$ 3.814,54	R\$ 2.811,43	R\$ 1.996,40	R\$ 961,94
Trifásico	15	75	R\$ 5.533,72	R\$ 4.029,06	R\$ 2.900,56	R\$ 1.301,85
Trifásico	15	112,5	R\$ 7.437,63	R\$ 5.431,41	R\$ 3.864,06	R\$ 1.669,75
Trifásico	15	150	R\$ 9.163,53	R\$ 6.655,75	R\$ 4.900,31	R\$ 2.267,15
Trifásico	15	225	R\$ 13.491,36	R\$ 10.105,86	R\$ 6.657,67	R\$ 2.990,05
Trifásico	15	300	R\$ 16.773,51	R\$ 12.510,29	R\$ 8.309,77	R\$ 3.795,78
Trifásico	24,2	15	R\$ 2.100,38	R\$ 1.598,83	R\$ 1.128,62	R\$ 344,94
Trifásico	24,2	30	R\$ 3.416,77	R\$ 2.539,04	R\$ 1.943,45	R\$ 783,60
Trifásico	24,2	45	R\$ 4.487,40	R\$ 3.484,29	R\$ 2.418,49	R\$ 945,17
Trifásico	24,2	75	R\$ 6.485,36	R\$ 4.855,30	R\$ 3.476,03	R\$ 1.344,42
Trifásico	24,2	112,5	R\$ 8.980,67	R\$ 6.849,07	R\$ 4.811,50	R\$ 1.896,21
Trifásico	24,2	150	R\$ 11.101,50	R\$ 8.468,34	R\$ 5.866,52	R\$ 2.292,95
Trifásico	24,2	225	R\$ 14.503,49	R\$ 10.741,83	R\$ 8.171,36	R\$ 3.093,12
Trifásico	24,2	300	R\$ 18.546,36	R\$ 14.032,37	R\$ 9.455,68	R\$ 3.813,19
Monofásico	15	5	R\$ 878,04	R\$ 752,65	R\$ 345,14	R\$ 157,06
Monofásico	15	10	R\$ 949,44	R\$ 698,66	R\$ 416,54	R\$ 197,11
Monofásico	15	15	R\$ 1.496,92	R\$ 1.120,75	R\$ 587,85	R\$ 305,73
Monofásico	15	25	R\$ 2.124,18	R\$ 1.622,63	R\$ 807,60	R\$ 337,39
Monofásico	15	37,5	R\$ 2.485,57	R\$ 1.733,24	R\$ 1.043,60	R\$ 385,31
Monofásico	15	50	R\$ 2.899,28	R\$ 2.146,95	R\$ 1.363,27	R\$ 642,28
Monofásico	15	75	R\$ 3.525,18	R\$ 2.522,07	R\$ 1.738,39	R\$ 735,29
Monofásico	15	100	R\$ 4.305,31	R\$ 3.051,42	R\$ 2.236,40	R\$ 951,16
Monofásico	24,2	5	R\$ 873,01	R\$ 622,23	R\$ 340,11	R\$ 152,02
Monofásico	24,2	10	R\$ 1.194,35	R\$ 818,18	R\$ 410,67	R\$ 159,89
Monofásico	24,2	15	R\$ 1.455,51	R\$ 1.079,34	R\$ 609,14	R\$ 327,01
Monofásico	24,2	25	R\$ 2.270,02	R\$ 1.768,46	R\$ 828,05	R\$ 357,84
Monofásico	24,2	37,5	R\$ 2.883,02	R\$ 2.005,30	R\$ 1.315,67	R\$ 531,99
Monofásico	24,2	50	R\$ 3.339,30	R\$ 2.461,58	R\$ 1.583,85	R\$ 706,13
Monofásico	24,2	75	R\$ 3.691,46	R\$ 2.688,35	R\$ 1.904,68	R\$ 870,22
Monofásico	24,2	100	R\$ 4.512,16	R\$ 3.258,28	R\$ 2.443,25	R\$ 1.095,32

HostCompany:

CONCLUSÃO

- Importância de considerar eficiência energética na escolha e manutenção dos transformadores de distribuição;
- Metodologia da ABNT NBR 5440 pode ser utilizada para auxiliar na escolha de viabilidade de reforma de transformadores distribuição;
- Metodologia da ABNT NBR 5440 pode ser utilizada por todas distribuidoras;
- Cálculos devem levar em consideração a particularidade de cada distribuidora;
- Existe diferença entre tipo de óleo utilizado.



OBRIGADO!