



INFLUÊNCIA DA COR NA ELEVACAO DA TEMPERATURA DOS TRANSFORMADORES

Autor: Engenheiro José Mak

1. OBJETIVO

- 1.1. Verificar teoricamente a influência da cor da pintura do tanque na elevação da temperatura interna de transformador instalado ao tempo.
- 1.2. A análise baseia-se em estudos anteriores, cujas conclusões, condensadas no item 2, foram estendidas aos transformadores de força e de distribuição.

2. EXPERÊNCIAS ANTERIORES

2.1. EXPERIÊNCIA DE V.M. MONTSINGER E L. WETHERILL (1)

O trabalho (1930) trata de experiências em transformadores com resfriamento natural (LN) provavelmente de pequenas potências, chegando às seguintes conclusões:

- A elevação de temperatura de um transformador cujo tanque esteja pintado com tinta não metálica, praticamente independe da cor da tinta;
- As tintas metálicas irradiam menos calor que as não metálicas;
- Um tanque de superfície lisa, pintado com tinta de alumínio, atinge uma temperatura aproximadamente 30% superior a temperatura do mesmo tanque pintado com tinta não metálica.
À medida que a superfície do tanque se torna irregular (tubos, radiadores, etc) diminui a influência das tintas metálicas sobre a elevação de temperatura, que pode baixar a apenas 5%. Numa superfície lisa, a

transmissão de calor é da ordem de 45% por convecção de 55% por radiação;

Transformadores de pequena potência, pintados com tinta branca, apresentam elevação de temperatura (sobre o ambiente) 20% inferior aos pintados com tinta preta. Para transformadores de maior potência (tanques corrugados) esta diferença se reduz a apenas 10%. Como a elevação de temperatura dos transformadores nos ensaios variou de 10 a 200 C, a redução de temperatura nos transformadores pintados de branco foi apenas de 2%, não se justificando a utilização de outras tintas que não a preta;

- A pintura do transformador deverá basear-se mais em considerações de durabilidade e aspecto, que em condições de aquecimento;
- A variação de temperatura do tanque depende apenas da pintura de acabamento não se relacionando as outras camadas de tinta.

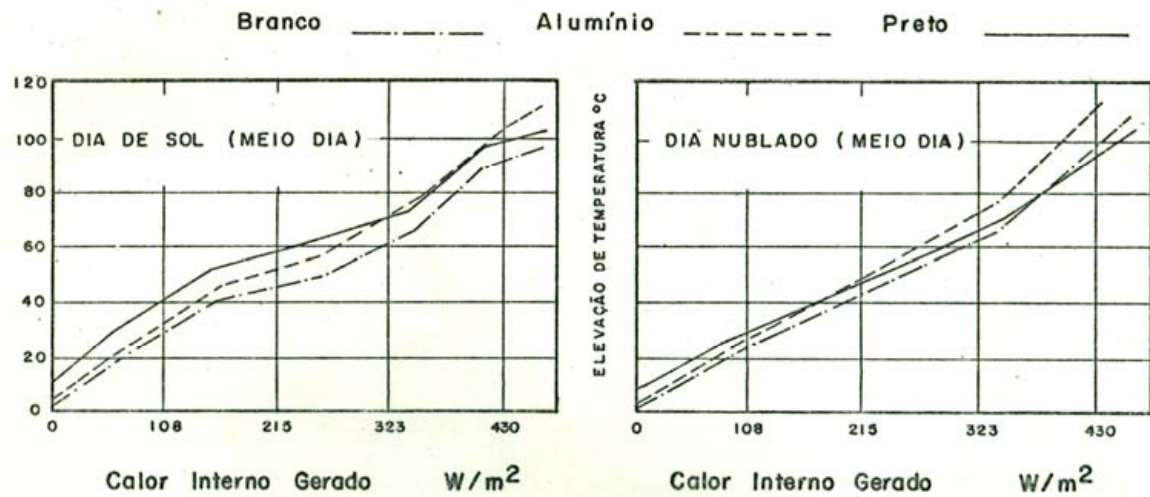
2.2. EXPERIÊNCIA DE RALPH H. LEE (2)

O trabalho (1973) concorda com as conclusões da experiência referida em 2.1, observando que, devido as elevações de temperatura dos transformadores de hoje, uma redução de 10 a 20% nessa elevação, obtida pela utilização de pinturas diferentes, pode influir significativamente na operação e vida útil do transformador.

Experiência feita com 3 caixas de chapa de alumínio. Mas nas dimensões e sujeitas a mesma insolação, pintadas de preto, branco (ZnO) e sem pintura, nas quais se utilizou resistores como fonte de calor, demonstrou que:

“A elevação de temperatura interna na caixa sem pintura e inferior à elevação ocorrida na caixa pintada de preto, para valores do calor interno gerado até aproximadamente 100 W/m^2 . Essa vantagem se reduz a zero quando o calor interno gerado for da ordem de 30.0 W/m^2 ”.

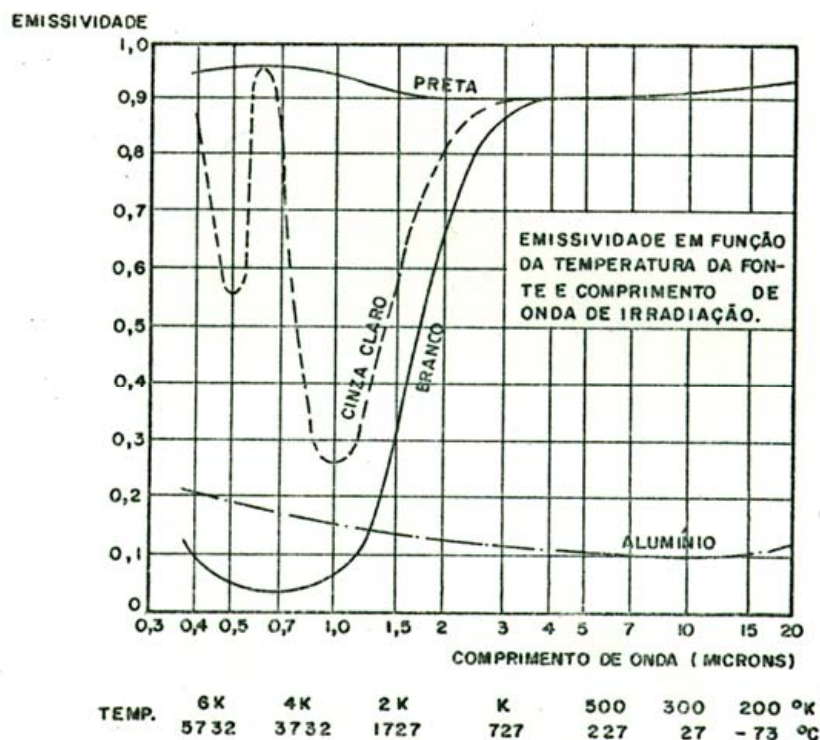
Os resultados da experiência estão nos gráficos:



Consta da publicação de R.H. Lee (2) a seguinte tabela de emissividades médias:

Temperatura - °C	52	5500 (Sol)
Comprimento da Onda - μ	8,8	0,6
Tinta:		
Preta	0,96	0,97
Cinza Claro	0,95	0,73
Alumínio	0,3	0,4
Branco	0,97	0,14

Na mesma publicação (2) é feita referência à publicação "Selective Surfaces and Solar Absorbers - Erich A. Farber - Florida Technical Progress Report V14 pp 2-6, 1960" que inclui o gráfico:



3. TRANSFORMADORES EM CARGA

3.1. GERAL

Nos cálculos que seguem, foram considerados os seguintes valores de emissividade:

TINTA	Preto	Cinza Claro	Alumínio	Branco
Radiação Solar	0,97	0,73	0,4	0,14
Radiação Interna	0,97	0,95	0,3	0,97

No transformador em carga ocorre:

- geração de calor interno devido as perdas nos enrolamentos e no núcleo;
- radiação solar durante o dia.

Para análise das trocas de calor que se passam, suponha-se que todo calor interno gerado deva ser transmitido pelo tanque ao exterior. A essa quantidade de calor, deve-se somar o calor devido à radiação não refletida pelo tanque.

Conforme experiência de Montsinger (item 2.1) para transformadores de pequena potência, de tanque liso, 55% do calor interno deveria ser dissipado pela superfície do tanque, por radiação, sendo os 45% restantes

dissipados por convecção. Para transformadores de maior potência, com radiadores, ventilação forçada, etc., pode-se prever que a porcentagem relativa à convecção seja bem maior, inclusive devido à não proporcionalidade entre a potência do transformador e suas dimensões externas.

Na análise feita a seguir, considerou-se o ambiente a 300 e, todo o tanque do transformador a uma temperatura média constante de 60°C e uma radiação solar de 1 kW/m² (3).

Para cálculo das potências irradiadas é utilizada a fórmula de Stefan-Boltzman:

$$W_R = k E (T_I^4 - T_0^4) \quad \text{onde:}$$

W_R : potência irradiada em W/m²

k : constante $0,57 \times 10^{-7}$

T_I : temperatura do tanque 333⁰k

T_0 : temperatura ambiente 303⁰k

E : emissividade da tinta

3.2. TRANSFORMADOR DE 25 MVA

Fabricante - Transformadores União S.A.

Potência ativa = 25 MW (cos ϕ = 1)

Perdas internas (0,5%) = 150 kW

Superfície total de irradiação = 80 m²

Superfície de Insolação considerada = 40 m

Radiação solar incidente = 40 kW/m² (1 kW/m² x 40 m²)

3.2.1. TINTA DE ALUMÍNIO

Radiação solar absorvida = 0,4 x 40 kW = 16 kW

Potência total a ser dissipada = 150 kW + 16 kW = 166 kW.

Do total a ser dissipado (166 kW), deverão ser irradiado.

$$W_r = 0,57 \times 10^{-7} \times 0,3 (333^4 - 303^4) = 66 \text{ W/m}^2$$

Potência total irradiada = 66 W/m² x 80 m² = 5300W que corresponde a 3% do total a ser dissipado.

Os restantes 97% deverão ser dissipados por convecção.

3.2.2. TINTA BRANCA

Radiação solar absorvida = $0,14 \times 40 = 6 \text{ kW}$
Potência total dissipada = $150 + 06 = 156 \text{ kW}$
Potência irradiada = $214 \text{ W/m}^2 \times 80 \text{ m}^2 = 17100 \text{ W}$ (11% do total).

3.2.3. TINTA CINZA CLARO

Radiação solar absorvida = $0,73 \times 40 = 29 \text{ kW}$
Potência total dissipada = $150 + 29 = 179 \text{ kW}$
Potência irradiada = $209 \text{ W/m}^2 \times 80 \text{ m}^2 = 16750 \text{ W}$ (9% do total).

3.2.4. TINTA PRETA

Radiação solar absorvida = $0,97 \times 40 = 39 \text{ kW}$
Potência total dissipada = $150 + 39 = 189 \text{ kW}$
Potência irradiada = $212 \text{ W/m}^2 \times 80 \text{ m}^2 = 16930 \text{ W}$ (9% do total).

3.3. TRANSFORMADOR DE 75 kVA

Fabricante - Toshiba - Iman S.A.
Potência ativa = 64 kW ($\cos \varphi = 0,85$)
Perdas internas = 1300 W
Superfície total de irradiação = $2,8 \text{ m}^2 = 185 \text{ W}$ (10% do total).

3.3.1. TINTA DE ALUMÍNIO

Radiação solar absorvida = $0,4 \times 1400 = 560 \text{ W}$
Potência total dissipada = $1300 + 560 = 1860 \text{ W}$
Potência irradiada = $66 \text{ W/m}^2 \times 2,8 \text{ m}^2 = 185 \text{ W}$ (10% do total).

3.3.2. TINTA BRANCA

Radiação solar absorvida = $0,14 \times 1400 = 196 \text{ W}$
Potência total dissipada = $1300 + 196 = 1496 \text{ W}$
Potência irradiada = $214 \text{ W/m}^2 \times 2,8 \text{ m}^2 = 600 \text{ W}$ (40% do total).

3.3.3. TINTA CINZA CLARO

Radiação solar absorvida = $0,73 \times 1400 = 1022 \text{ W}$
Potência total dissipada = $1300 + 1022 = 2320 \text{ W}$
Potência irradiada = $209 \text{ W/m}^2 \times 2,8 \text{ m}^2 = 586 \text{ W}$ (25% do total).

3.3.4. TINTA PRETA

Radiação solar absorvida = $0,97 \times 1400 = 1358 \text{ W}$
Potência total dissipada = $1358 + 1300 = 2658 \text{ W}$
Potência irradiada = $214 \text{ W/m}^2 \times 2,8 \text{ m}^2 = 600 \text{ W}$ (23% do total).

4. CONCLUSÕES PARA TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA ELEVADA

- 4.1. Parece claro que o efeito convectivo torna-se preponderante para transformadores de maior potência, quando o calor a ser dissipado por radiação deve ser bem inferior à quantidade do calor dissipado por convecção; para o transformador de 25MVA considerado, o valor irradiado corresponde no máximo a 11% do total a ser dissipado (Tabela anexa).. Para transformadores de distribuição, o valor irradiado corresponde a uma par cela razoável do valor total a ser dissipado.
- 4.2. Analisando-se as colunas 1 e 2 (Tabela anexa), conclui-se que as tintas branca e cinza claro seriam as recomendáveis tanto para transformadores de distribuição quando de potência, em detrimento às tintas alumínio e preta.
- 4.3. O calculo para determinação da elevação de temperatura do óleo em função da temperatura do tanque, envolve parâmetros de difícil determinação. Pode-se afirmar, contudo, que uma redução na temperatura do tanque acarretara uma redução na temperatura interna do transformador, podendo aumentar a potência de operação do transformador ou retardar o envelhecimento dos materiais isolantes.
- 4.4. Em função da estética, a escolha entre a cor branca e a cinza claro recai sobre a última pelas evidentes vantagens em relação à poeira, ferrugem, vazamento de óleo, etc...
- 4.5. Comparando a cor cinza claro e a alumínio em função do calor dissipado na tabela anexa (coluna 3), temos 9% e 3% respectivamente, o que resultara em uma diferença na temperatura de operação entre 3°C e 5°C mais baixa para o transformador pinta do na cor cinza claro.
- 4.6. Consultando-se o gráfico “EXPECTATIVA DE VIDA” na NB-110/80 “Aplicação de Cargas em Transformadores de Potência” e considerando-se que a vida esperada do transformador na CPFL é de 30 anos, em função dos ciclos de carga a que ele é submetido, conclui-se que, uma temperatura de operação 4°C mais baixa resultaria em uma expectativa de vida não mais de 30 anos, mas sim de 42 anos, o que justifica plenamente a escolha da tinta cor cinza claro.

5. **RECOMENDAÇÕES PARA A CPFL**

Para: Transformadores de Potência - Reguladores de Tensão

A pintura dos novos equipamentos e a pintura dos equipamentos em operação conforme necessidade de reforma deverá ser feita com a tinta esmalte sintético alquídico cinza claro Munsell 5 BG 7.0. Desta forma, além da vantagem abordada no item 4.7. existe a vantagem da maior resistência que a da tinta alumínio (9).

BIBLIOGRAFIA

- (1) Manual Standard dei Ingeniero Electricista .A.E. Knowlton .Tomo 1 -pags. 683 - 704.
- (2) The Effect of Color on Temperature of Electrical Enclosure Subject to Solar Radiation .Ralph H. Lee (Conference Paper IEEE .C 73388-6).
- (3) IEEE nº 144 "A Guide for Evaluating the Effect of Solar Radiation on Outdoor Metal .Clad Switchgear"
- (4) Selecting Paints and Colors for Uses on Air Power Transformmers (Report IEEE - Substation Comittee Working Group 57.2 - T.J. Eberhardt - Basf Wyandotte Corporation - Subox Coating).
- (5) Princípios de Transmissão do Calor .Frank Kreith (Editora da Universidade de São Paulo).
- (6) Eletricidade Moderna - Novembro/1979 -pags. 24 e 25.
- (7) Instrução para Pinturas de Transformadores - ITEL S.A.
- (8) NB - 110/80 - Aplicação de Cargas em Transformadores de Potência.
- (9) Ensaio de Esquemas de Pintura em Campo e em Laboratório - FURNAS -Centrais Elétricas S/A - Set/81.