

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Influência da Cor das Tintas de Acabamento Poliuretano Alifático na Absorção e na Dissipação de calor

Fernando L. Fragata^a, Márcio A. Sens^b, Mauro Z. Sebrão^c

Abstract

It is widely known that the color of paints has significant influence on the temperature of painted surfaces, mostly when exposed to the solar radiation. So, there is a consensus that for the same kind of surface, black is the hottest while white is the coldest. This subject has a great interest for several industrial segments specially for the Brazilian power generation industry. So, CEPEL conducted a practical study, using specific methodologies, to evaluate the influence of the color of aliphatic polyurethane paints on heat absorption and dissipation. This paper presents the methodologies used, the results obtained and the technical considerations concerning the influence of the color of paint on heat absorption and dissipation properties.

Keywords: color, paints, temperature.

Resumo

É amplamente conhecido que a cor das tintas tem uma influência significativa na temperatura das superfícies em geral, principalmente quando estas estão expostas à radiação solar. Neste sentido, há o consenso de que a cor preta tende a deixar a superfície ou o meio mais quente, enquanto que a branca, mais frio. Por se tratar de um tema de grande interesse para os diversos segmentos da indústria, principalmente para o Setor Elétrico brasileiro, o CEPEL realizou um estudo prático dentro do qual se avaliou, utilizando-se metodologias específicas, a influência da cor das tintas, a base de poliuretano alifático, na absorção e dissipação de calor. Neste trabalho apresentam-se as metodologias utilizadas em cada etapa, os resultados dos ensaios realizados e as considerações técnicas a respeito da influência da cor da tinta nas propriedades de absorção e dissipação de calor.

Palavras-chave: cor, tintas, temperatura.

Introdução

Os esquemas de pintura, além da proteção anticorrosiva, podem conferir aos substratos em geral, dependendo da cor da tinta de acabamento, outras propriedades importantes como por exemplo, estéticas, sinalização e redução ou aumento de temperatura. Neste último caso, é amplamente conhecido que a cor das tintas tem uma influência significativa na temperatura das superfícies em geral, principalmente quando estas estão expostas à radiação solar. Neste sentido, há o consenso de que a cor preta tende a deixar a superfície ou o meio mais quente, enquanto que a branca, mais frio. Isto se deve, basicamente, ao fato de que as superfícies que têm absorvidade elevada na faixa de comprimento de onda solar, alcançam,

^a Engenheiro Químico – Eletrobras Cepel

^b Engenheiro Eletricista – Eletrobras Cepel

^c Engenheiro Metalúrgico – Eletrobras Cepel

substancialmente, maiores temperaturas de equilíbrio do que as de menor absorvidade. Em particular, a cor preta absorve cerca de 95 % da radiação solar incidente enquanto que a branca, da ordem de 18 % (1). As temperaturas de equilíbrio mais baixas são obtidas com tintas de cor branca, que são emissores seletivos.

Por se tratar de um tema de grande interesse para os diversos segmentos da indústria, principalmente para o Setor Elétrico brasileiro (2), a Eletrobras-Cepel realizou um estudo prático dentro do qual se avaliou, utilizando-se metodologias específicas, a influência da cor de tintas, à base de poliuretano alifático, na absorção e dissipação de calor. As cores estudadas foram: branca, cinza, preta e alumínio. Com exceção desta última, nas demais cores também se avaliou a influência do brilho da película (brilhante e fosca) nas propriedades mencionadas. Basicamente, o estudo foi realizado em duas etapas. Na primeira estudou-se a influência da cor da tinta na absorção de calor, em decorrência da incidência da radiação solar, enquanto que na segunda foi avaliada a influência na dissipação de calor gerado por meio de corrente elétrica.

É importante deixar claro que, face à complexidade do tema em questão, muitos fatores estão envolvidos, como por exemplo, o tipo de energia incidente, o comprimento de onda da radiação e as características superficiais do objeto, o trabalho realizado teve um objetivo prático, ou seja, mostrar, com números, como a cor de uma tinta afeta as propriedades de absorção e de dissipação térmica, para uma dada metodologia de ensaio.

Neste trabalho apresentam-se as metodologias utilizadas em ambas as etapas do estudo, os resultados dos ensaios realizados e as considerações técnicas a respeito da influência da cor da tinta nas propriedades de absorção e dissipação de calor.

Metodologia

Tintas utilizadas no estudo

As tintas utilizadas foram fabricadas especialmente para o desenvolvimento do estudo, por uma importante empresa brasileira, com grande tradição no segmento de tintas industriais. Para tal, foram fabricadas tintas de acabamento nas seguintes cores: branca, cinza, preta e alumínio. No caso das três primeiras, foram confeccionadas tintas brilhantes e foscas, com a finalidade de se avaliar também a influência do brilho, em relação às propriedades em questão. Na Tabela 1 apresentam-se algumas características técnicas das tintas utilizadas.

Tabela 1 – Características técnicas das tintas de acabamento utilizadas no estudo

Cor	Notação (Munsell)	Código (*)	Brilho ASTM D 523, 60 °, (UB)	Pigmento(s) básico(s)	Resinas
Branca (brilhante)	N 9.5	B.B.	90 a 94	Dióxido de titânio	Componente A: poliéster ortoftálico
Branca (fosca)		B.F.	15 a 20	Dióxido de titânio e talco	
Cinza (brilhante)	N 6.5	C.B.	92 a 95	Dióxido de titânio e negro de fumo	
Cinza (fosca)		C.F.	14 a 20	Dióxido de titânio, negro de fumo e talco	
Preta (brilhante)	N 1	P.B.	94 a 97	Negro de fumo	Componente B: Poliisocianato alifático
Preta (fosca)		P.F.	15 a 20	Negro de fumo e talco	
Alumínio	-	Al	-	Alumínio em pasta	

(*) A primeira letra refere-se à cor da tinta e a segunda ao aspecto da película (B: brilhante e F: fosca).

Sistemas e dispositivos de medição de temperatura

Etapa I : Influência da cor e do brilho na absorção de calor

Cilindros metálicos com e sem pintura

Para se avaliar a influência da cor e do brilho das tintas na absorção de calor, foram utilizados segmentos de barramentos condutores tubulares, em liga de alumínio, utilizados em subestações de transmissão de energia elétrica, na forma de cilindros metálicos. A superfície do metal encontrava-se ligeiramente fosca, ou seja, não estava brilhante e nem polida. Os cilindros possuíam as seguintes dimensões: comprimento = 300 mm; diâmetro externo = 170 mm; espessura da parede = 6,5 mm. A pintura dos mesmos foi feita utilizando-se o seguinte procedimento:

- Desengorduramento da superfície por meio de solventes orgânicos adequados;
- Aplicação, por meio de pistola de pulverização, de uma demão de tinta de aderência à base de cromato de zinco e polivinilbutiral (*wash-primer*), com espessura seca de (8 a 12) μm ;
- Aplicação, por meio de pistola de pulverização, de duas demãos de tinta de acabamento poliuretano alifático, conforme Tabela 1, com espessura seca de (35 a 45) μm por demão.

Além dos cilindros revestidos com pintura, utilizou-se no estudo um cilindro sem revestimento, para fins comparativos, no qual a superfície metálica do mesmo foi submetida apenas a um processo de limpeza por meio de solventes orgânicos. No caso deste cilindro, o código adotado para sua identificação nos gráficos foi S/P (sem pintura).

Após a preparação, os cilindros foram expostos à radiação solar (estação do ano verão), no pátio do CEPTEL (Ilha do Fundão – Rio de Janeiro - RJ), local onde foram realizadas as medições de temperatura. Os cilindros com e sem revestimento por pintura foram instalados de modo que a posição de um não interferisse na circulação de ar ao redor do outro. Isto foi feito para que a troca de calor por convecção natural não sofresse influência da posição, fato este que havia ocorrido numa fase inicial dos trabalhos. Na Figura 1 mostra-se a distribuição dos cilindros no local dos ensaios, a uma altura aproximada de 1,0 m acima do gramado.

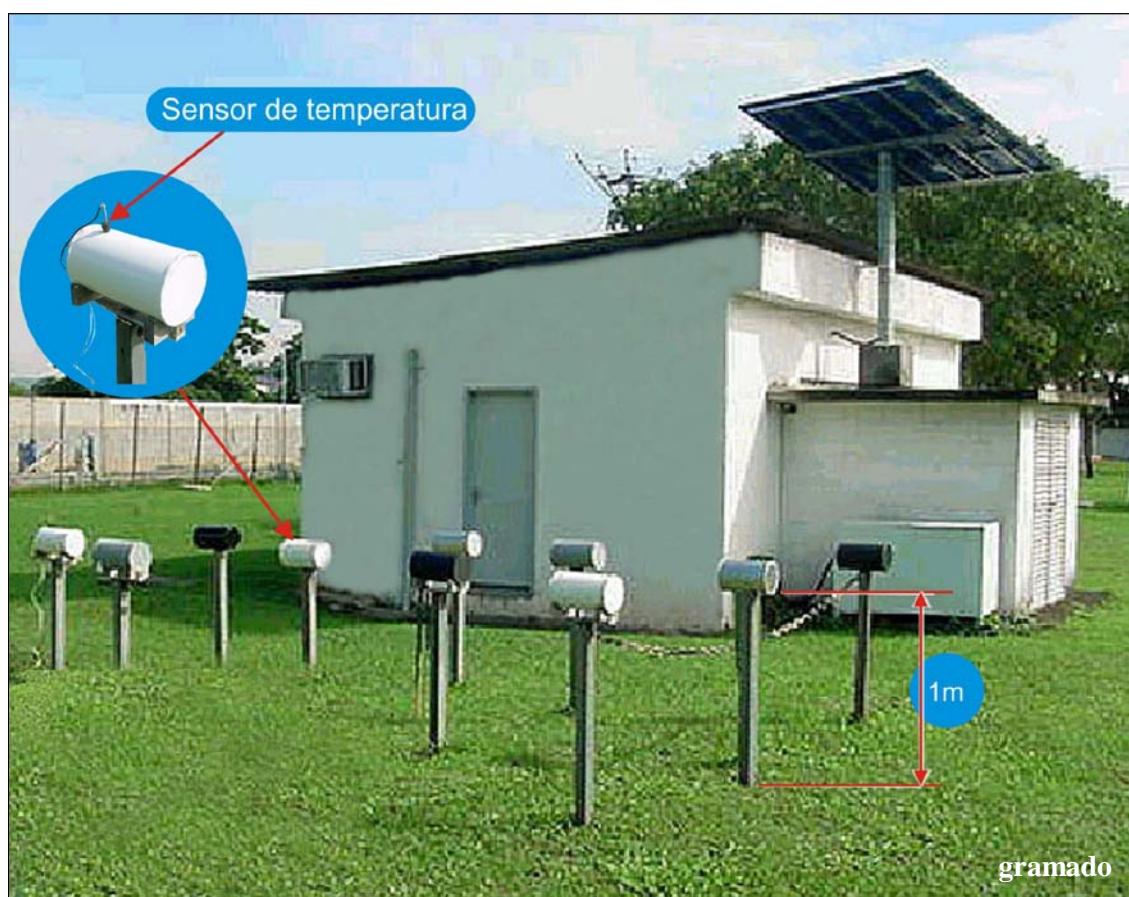


Figura 1 – Cilindros com e sem revestimento por pintura no pátio do CEPTEL (RJ)

A medição de temperatura foi realizada no interior dos cilindros e na parede interna de alumínio (temperatura do metal). Para tal, utilizou-se um sensor de temperatura tipo termopar T (cobre/constantan), em cada ponto de medição, o qual foi conectado a um sistema de aquisição de dados por computador. Na Figura 2 mostra-se, de forma esquemática, o sistema de medição utilizado. Além dos pontos mencionados, também foi feita a medição de temperatura ambiente e no interior de cilindros contendo óleo mineral isolante, por ser este um fluido utilizado no sistema de isolamento elétrico de transformadores e de outros equipamentos de subestações. Neste caso, apenas cilindros pintados nas cores branca, cinza e preta (películas brilhantes e foscas) e aquele sem pintura foram submetidos aos ensaios.

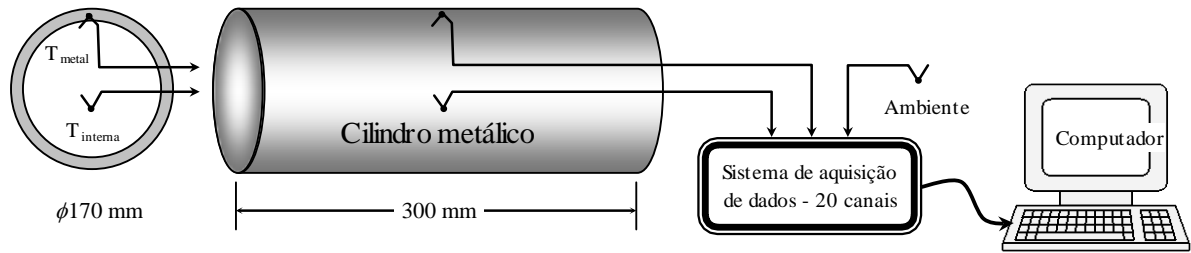


Figura 2 – Sistema de medição de temperatura dos cilindros metálicos.

Etapa II: Influência da pintura e da cor das tintas na dissipação de calor

Nesta etapa do trabalho avaliou-se a capacidade de dissipação térmica superficial de placas de cobre, com e sem pintura. No caso das placas pintadas, estudou-se as tintas de cores branca, cinza e preta (películas brilhantes e foscas). As placas de cobre utilizadas nos ensaios possuíam dimensões de 330 mm x 30 mm e espessura de 0,1 mm. Entretanto, o comprimento útil foi de 150 mm, pois esta foi a distância adotada entre os pontos de tomada de potencial. Visando a acomodação das placas, utilizou-se, como suporte, um quadro de madeira, especialmente construído para este fim, ao qual as mesmas foram fixadas por meio de porcas e arruelas. Por intermédio destas, as placas foram interligadas entre si. A montagem utilizada está, de forma esquemática, representada na Figura 3.

No caso específico desta etapa, os ensaios foram realizados em laboratório, ou seja, sem a incidência de radiação solar. Para a medição de resistência elétrica das amostras, foram instaladas tomadas de potencial, através de condutores de cobre soldados (aos pares em cada placa, distando 150 mm em média entre si) que foram ligados a pares de bornes, na parte inferior do quadro, para a realização das leituras de tensão, sendo seis pares para as placas de cobre e mais um para as tensões de referência, totalizando sete pares conectados ao nanovoltímetro digital, através de um seletor de canais.

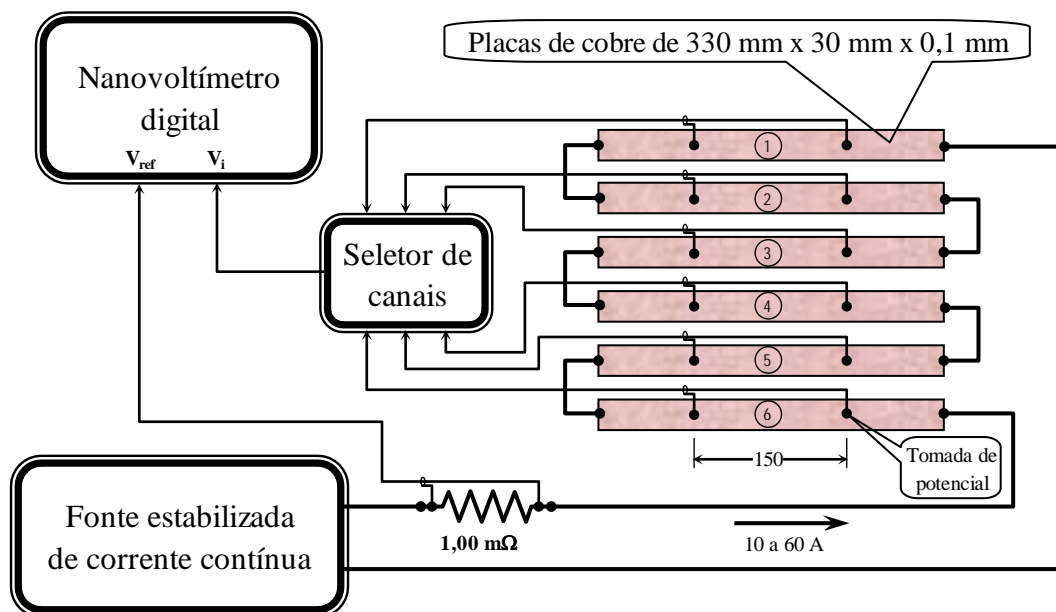


Figura 3 – Circuito montado para o ensaio nas placas de cobre (1 a 6), com e sem pintura.

Medição da resistência das placas

Foram medidas as resistências elétricas, na temperatura ambiente, de todas as placas de cobre, pintadas e não pintadas, entre tomadas de potencial distanciadas de 150 mm, por meio de um micro-ohmímetro digital. A temperatura ambiente foi medida através de termômetro digital.

Aquecimento das amostras

O aquecimento das placas de cobre foi feito através de passagem de corrente contínua, conforme pode ser observado na Figura 3. O aquecimento foi realizado em degraus de 5 A, iniciando em 10 A e terminando em 60 A, com intervalos de 35 minutos, em média, em cada degrau. Antes de iniciar o aquecimento, no primeiro degrau de corrente, foi realizado um pré-aquecimento do sistema por 30 minutos, com a aplicação de corrente elétrica de 10 A.

Determinação da dissipação térmica pelas amostras

Todas as leituras de tensão, necessárias para a avaliação das temperaturas, foram realizadas com cinco Algarismos Significativos. Com a tensão sobre o resistor padrão, e com o valor de sua resistência, obtinha-se com precisão a intensidade de corrente elétrica aplicada no circuito. Pela razão da tensão de cada placa de cobre, entre tomadas de potencial (V_i) e a tensão do resistor de referência (V_{ref}) foi determinada a resistência elétrica da amostra na corrente de ensaio, onde ($i= 1$ a 6). Lendo-se as tensões e repetindo-se o procedimento para cada uma das placas (pares de bornes de 1 a 6), podia-se então ler a razão entre as tensões (tensão da placa pela tensão padrão de referência). A partir desta leitura calculou-se a resistência das placas sob aquela condição e, daí, a temperatura, a sobrelevação de temperatura e a potência térmica dissipada. A sobrelevação de temperatura (ΔT) foi determinada pela variação de resistência elétrica das amostras em relação à condição inicial, na temperatura ambiente, com base na variação de resistividade do cobre eletrolítico com a temperatura, conforme fórmula abaixo:

$$\Delta T = \frac{R_T(K + T_{a1}) - K - T_{a2}}{R_{Ta1}} \quad \text{onde,}$$

ΔT = sobrelevação de temperatura;

R_T = resistência elétrica da amostra, na corrente de ensaio;

$K = 234,5$ °C (coeficiente do cobre);

T_{a1} = temperatura ambiente no momento da medição inicial da amostra;

T_{a2} = temperatura ambiente no momento da medição, sob corrente;

R_{Ta1} = resistência inicial da amostra, na temperatura T_{a1} .

O fator de dissipação térmica foi determinado pela correlação da potência dissipada (W/m^2) com a elevação de temperatura da amostra (°C). A sobrelevação de temperatura das amostras (em relação à temperatura ambiente) e o fator de dissipação térmica foram determinados, inicialmente, para as seis placas de cobre sem pintura e, em seguida, para as revestidas com as tintas de cores branca, cinza e preta, nas versões brilhante e fosca.

Resultados

Etapa I: Influência da cor na absorção de calor

Na Figura 4 mostra-se a temperatura interna em cada um dos cilindros, pintados com as tintas brilhantes nas cores branca, cinza e preta e na cor alumínio. Também apresentam-se os gráficos da temperatura interna do cilindro sem pintura (S/P) e da temperatura ambiente, ao longo do período de medição.

Como pode ser observado, a cor da tinta de acabamento, considerando-se a metodologia utilizada no estudo, influenciou de forma substancial a temperatura interna dos cilindros expostos à radiação solar. Neste sentido, a cor branca foi a que propiciou a temperatura interna mais baixa, enquanto que a preta a mais alta. Depois da cor branca, a tinta de alumínio foi a que conduziu à temperatura mais baixa. O cilindro sem pintura veio logo em seguida, inclusive com temperatura mais baixa do que aquela do cilindro de cor cinza. Na Tabela 2, mostra-se a temperatura interna de cada cilindro, num momento em que a temperatura ambiente era de 37 °C e a respectiva sobrelevação de temperatura (ΔT) em relação à temperatura ambiente. Como pode ser constatado, a diferença de temperatura interna dos cilindros de cores branca e preta é de 10 °C.

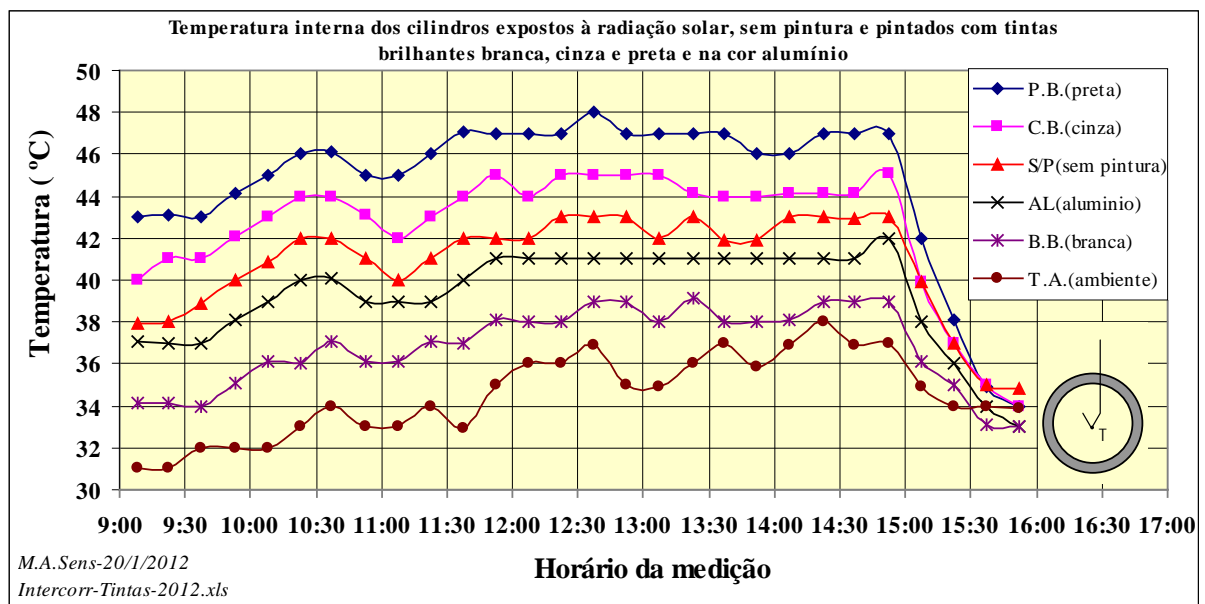


Figura 4 – Temperatura interna dos cilindros pintados, com tintas brilhantes.

Tabela 2 – Temperatura interna dos cilindros, expostos à radiação solar

Cor (código)	Temperatura interna T (°C)	Sobrelevação $\Delta T = T - T_a$ (°C)
Branca brilhante (B.B)	38	1
Cinza brilhante (C.B.)	45	8
Preta brilhante (P.B)	48	11
Alumínio (AL)	41	4
Sem Pintura (S/P)	43	6
Observação	Temperatura ambiente no momento das medições $T_a = 37$ °C	

Na Figura 5, mostra-se a temperatura interna da parede metálica do cilindro, conforme indicado, de forma esquemática, na Figura 2. Nela pode-se observar que, qualitativamente, os resultados são semelhantes aqueles da temperatura interna dos cilindros, como mostrado na Figura 4. Portanto, constatou-se que a cor da tinta afeta também, de forma acentuada, a temperatura do metal, quando exposto à radiação solar.

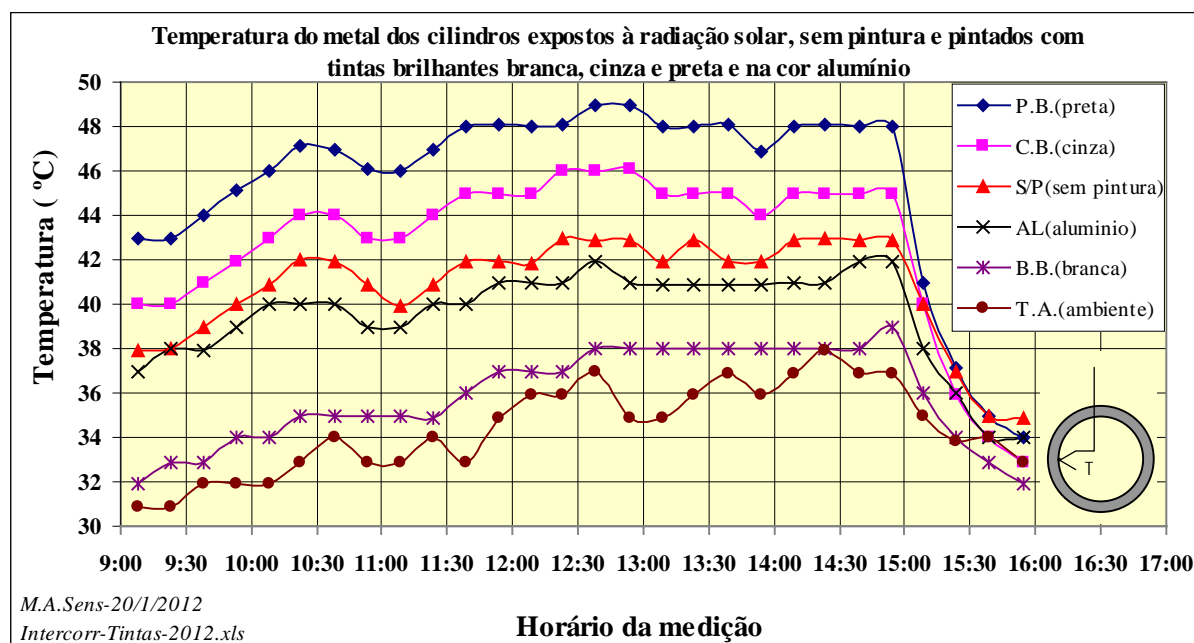


Figura 5 – Temperatura do metal dos cilindros, expostos à radiação solar

Na Figura 6 mostra-se a temperatura interna dos cilindros pintados com tintas brilhantes e foscas, nas cores branca, cinza e preta. Como descrito em itens anteriores, o objetivo, neste caso, foi avaliar a influência do brilho das tintas nas propriedades em questão. Observou-se que o brilho, praticamente, não influenciou a temperatura interna dos cilindros. As diferenças observadas podem ser consideradas desprezíveis, pois estão dentro do limite de incerteza da medição (± 1 °C).

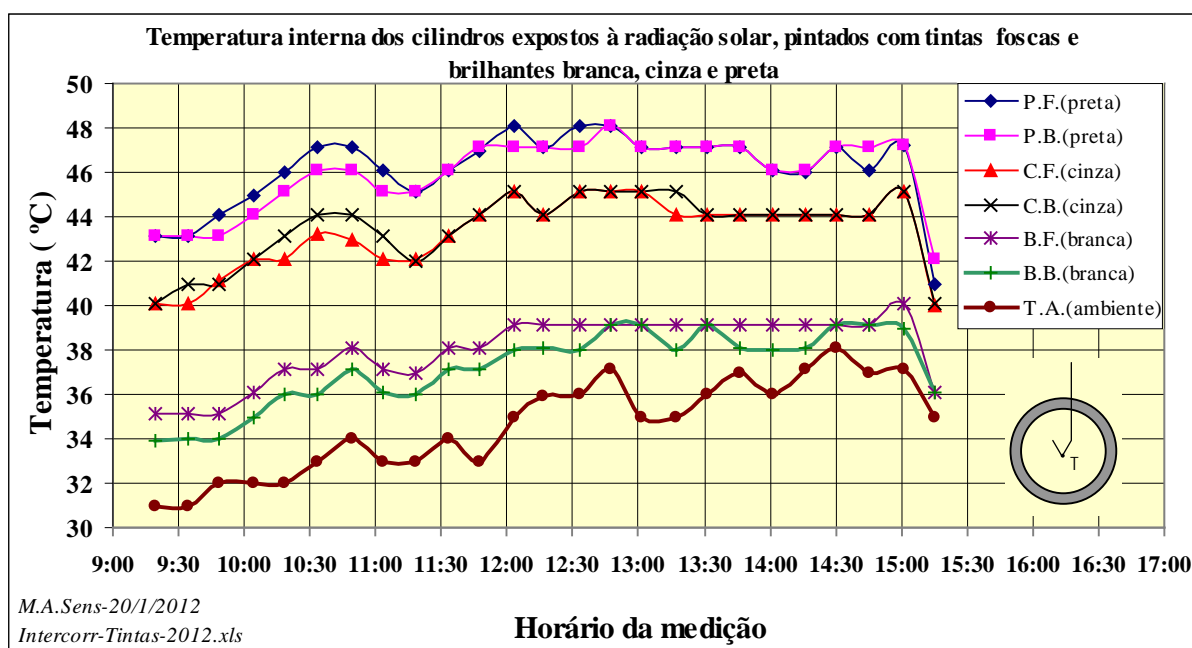


Figura 6 – Temperatura interna dos cilindros, expostos à radiação solar

Na Figura 7 mostra-se a temperatura do óleo mineral isolante dentro dos cilindros, sem pintura (S/P) e pintados com as tintas brilhantes nas cores branca (B.B.), cinza (C.B.) e preta (P.B.) e na cor alumínio (AL). Observou-se, tal como nos casos anteriores, que a tinta de cor branca foi a que propiciou menor temperatura ao óleo mineral, enquanto que a preta a mais alta. Nos cilindros de cores cinza, preta e alumínio, bem como naquele sem pintura, a temperatura do óleo situou-se em estágios intermediários entre as duas cores, branca e preta.

Na Tabela 3 mostra-se a temperatura do óleo dentro dos cilindros expostos à radiação solar e a respectiva sobrelevação de temperatura (ΔT), em relação à temperatura ambiente, pintados com tintas brilhantes e foscas, nas cores branca, cinza e preta, no momento em que a temperatura ambiente era 36 °C. Como pode ser observado, apesar das diferenças serem muito pequenas, as tintas foscas, para uma mesma cor, conferiram temperatura mais elevada ao óleo.

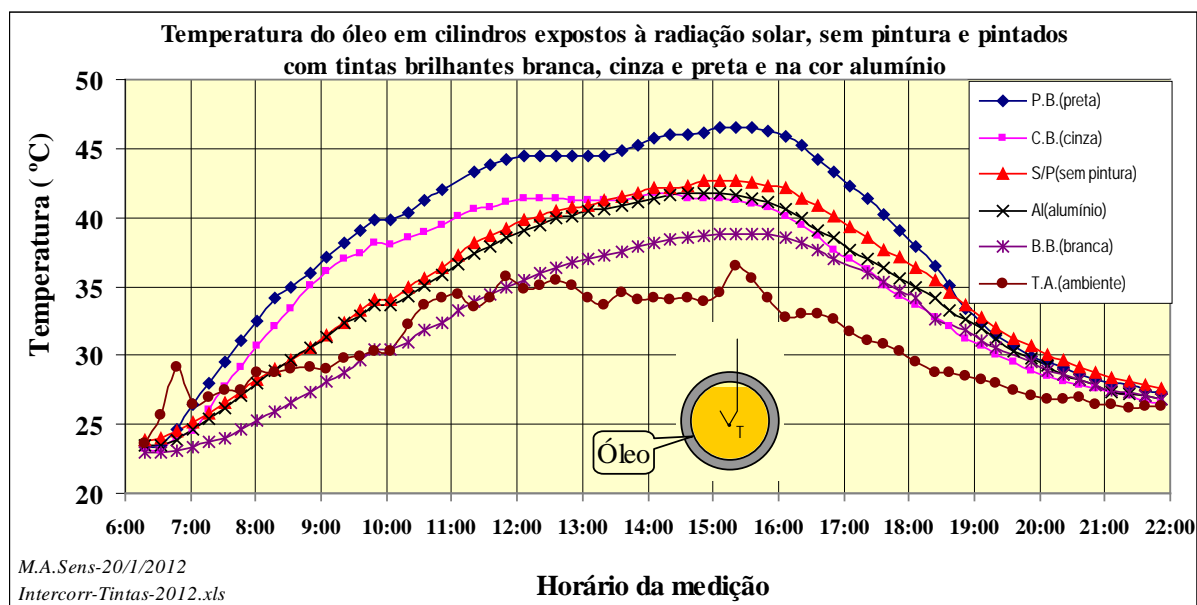


Figura 7 – Temperatura do óleo, dentro dos cilindros metálicos ao sol

Tabela 3 – Temperatura do óleo dentro dos cilindros pintados expostos à radiação solar

Cor (aspecto da película)	Temperatura do óleo T (°C)	Sobrelevação $\Delta T = T - T_a$ (°C)
Branca (brilhante)	38	2
Branca (fosca)	40	4
Cinza (brilhante)	42	6
Cinza (fosca)	43	7
Preta (brilhante)	47	11
Preta (fosca)	49	13
Observação	Temperatura ambiente no momento das medições $T_a = 36$ °C	

Etapa II: Influência da pintura e da cor das tintas na dissipação de calor

Antes de apresentar os resultados, é sempre importante frisar que os mesmos foram obtidos em laboratório, portanto sem a incidência de radiação solar e sem ventos. Na Figura 8 e na

Figura 9 apresentam-se os resultados da sobrelevação de temperatura e do fator de dissipação térmica, respectivamente, das seis placas de cobre utilizadas no estudo, porém sem pintura. Procurou-se com isso conhecer as propriedades iniciais das placas, antes da aplicação da pintura.

Na Figura 8 observa-se que, para uma potência de 400 W/m^2 aplicada às placas de cobre (polidas), houve uma sobrelevação superficial de temperatura de, aproximadamente, $50 \text{ }^\circ\text{C}$. O gráfico mostra ainda a capacidade de dissipação de calor, para o ambiente, de cada placa, com o aumento da corrente de aquecimento. Também nota-se uma família de retas, onde cada uma representa uma placa de cobre específica (total de seis), confundindo-se entre si, por serem todas do mesmo material e com características de dissipação semelhantes.

Na Figura 9 pode-se visualizar os valores obtidos para a capacidade de dissipação térmica na condição inicial. Observa-se uma pequena variação dos valores, em torno de $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, provavelmente devido a diferenças nas condições de convecção das placas. Apesar de possuírem as mesmas dimensões e posicionamento uniforme no quadro, estas apresentavam ligeiras ondulações.

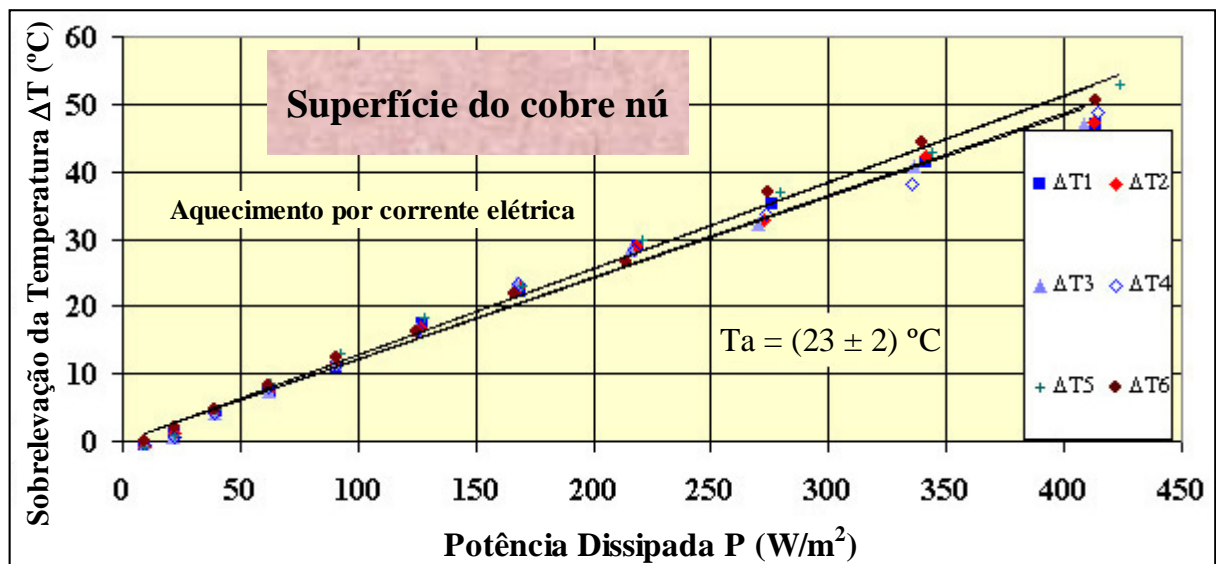


Figura 8 – Sobrelevação da temperatura das seis placas de cobre sem pintura

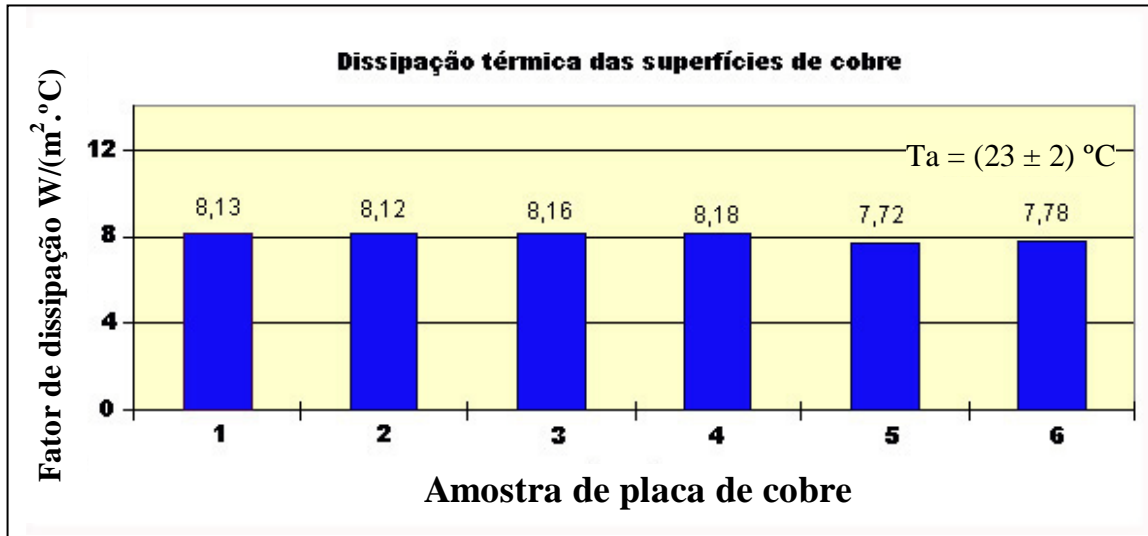


Figura 9 – Dissipação térmica das seis placas de cobre sem pintura

Na Figura 10 mostra-se a sobrelevação de temperatura das placas de cobre pintadas com as tintas de cores branca, cinza e preta, nas versões brilhante e fosca. Nela é possível visualizar um aumento considerável da potência dissipada por cada uma das placas pintadas, a uma dada temperatura, quando compara-se com a condição inicial sem pintura, conforme Figura 8. No caso das placas pintadas, independente da cor e do brilho das películas das tintas, para uma potência dissipada de 400 W/m^2 , a sobrelevação de temperatura não chegou a 35°C . Vale lembrar que, no caso das placas sem pintura, esta foi de, aproximadamente, 50°C . Portanto, isto revela que a pintura aumenta a capacidade de dissipação térmica das placas de cobre polidas. Como consequência, tem-se maior dissipação de calor e uma temperatura mais baixa. Nas condições em que o ensaio foi realizado (na ausência de radiação solar), não se observou influência da cor e do brilho das tintas nas propriedades em questão.

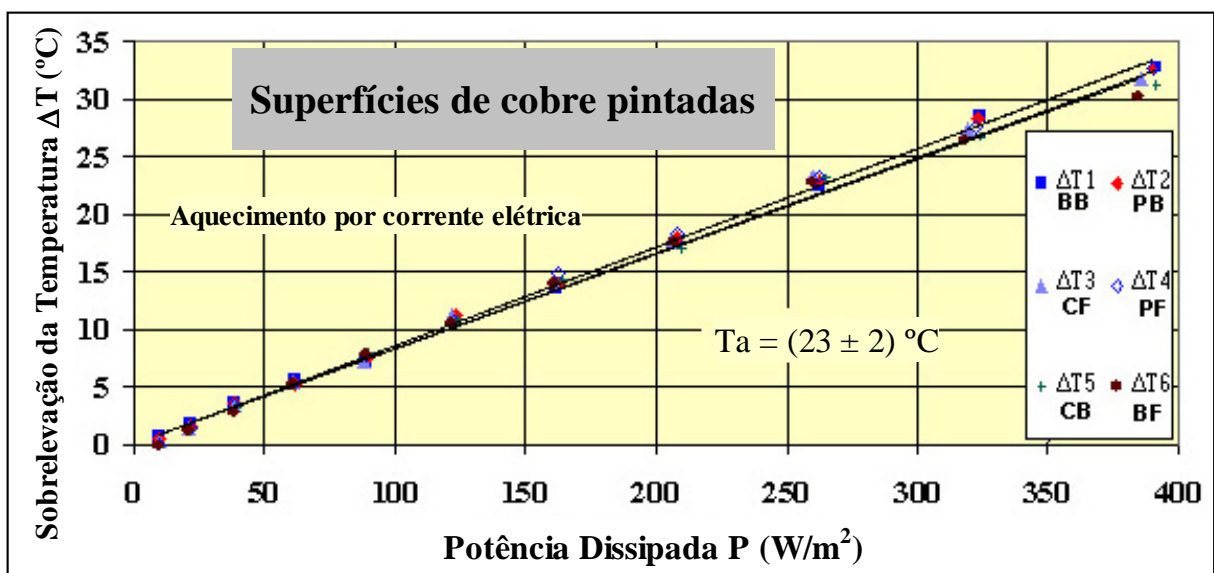


Figura 10 – Sobrelevação de temperatura das placas de cobre pintadas

Na Figura 11 mostra-se o gráfico correspondente à dissipação térmica das placas pintadas. Como pode ser observado, foi encontrado um fator de dissipação térmica mais elevado, em torno de $12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, que aquele obtido com as placas de cobre sem pintura, em torno de $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Também neste caso, nas condições em que o ensaio foi realizado (ausência da incidência de radiação solar), não se observou influência da cor e do brilho das tintas na propriedade em questão.

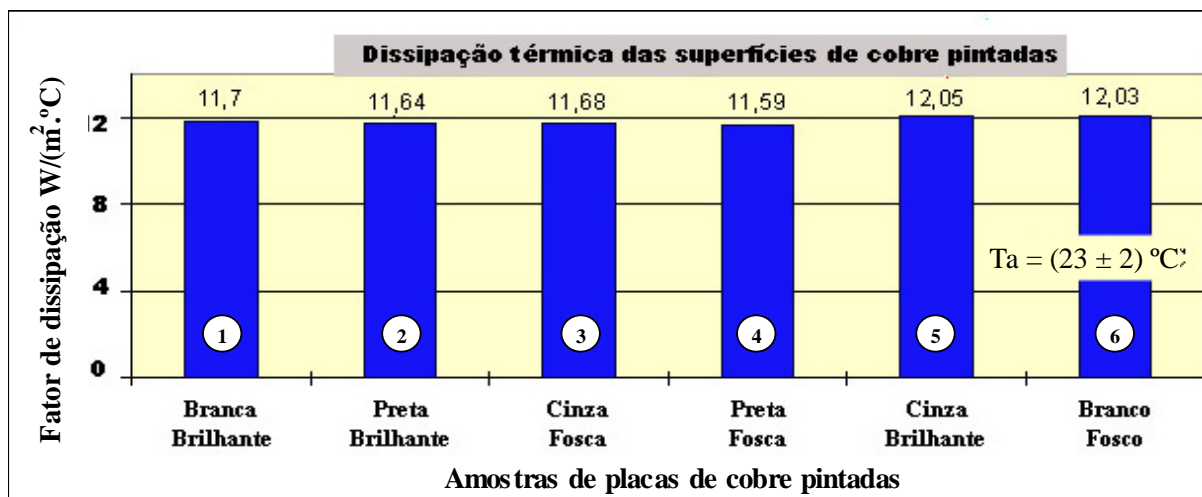


Figura 11 – Dissipação térmica das placas de cobre pintadas

Discussão

Como descrito em itens anteriores, o tema cor *versus* absorção ou dissipação de calor é bastante complexo, pois depende de uma série de fatores. Um deles é o comprimento de onda da energia envolvida. No caso da radiação solar (comprimento de onda curto), quanto mais clara for a cor menos energia é absorvida e mais é refletida. Uma tinta de cor branca é capaz de absorver 10 % da luz solar e refletir cerca de 90 %, enquanto que as de cores escuras podem absorver cerca de 85 % e refletir apenas 15 % (3). Na Tabela 4 mostram-se os valores de absorvidade para tintas de cores diferentes, confeccionadas com resina óleo-resinosa (4). Nela pode-se observar o alto valor de absorvidade da tinta de cor preta (0,90) e o baixo valor da tinta de cor branca (0,30). A tinta de cor alumínio apresenta valor intermediário entre as duas cores mencionadas (0,55).

Tabela 4 – Absortividade solar de tintas óleo-resinosas de diferentes cores (4)

Cor	Absortividade
Branca (óxido de zinco)	0,30
Cinza	0,75
Preta	0,90
Alumínio	0,55

Quanto à dissipação de calor, esta ocorre com a emissão de radiação de comprimento de onda longo e a eficiência depende, dentre outros fatores, das características superficiais do objeto e do mecanismo de troca de calor envolvido (3). Dentro deste contexto, a emissividade do material na região do infravermelho é uma das propriedades que norteia a dissipação de calor.

Quanto aos resultados obtidos na etapa I (Influência da cor na absorção de calor, item 2.2.1) do presente trabalho, os mesmos estão coerentes com as características das tintas, com relação à cor das mesmas e, de certa forma, já eram esperados. Por exemplo, todos os resultados apresentados na Figura 4, na Figura 5 e na Tabela 2 mostram que a tinta branca foi a que proporcionou a menor temperatura interna aos cilindros, bem como às paredes metálicas dos mesmos. A cor preta foi, em ambos os casos, a que conduziu a temperaturas mais elevadas. Estes resultados são semelhantes aqueles obtidos por GIER (5), num estudo em que também foi avaliada a influência de algumas cores de tintas na absorção de calor. Além disso, os resultados também estão coerentes com os valores de absorvidade mostrados na Tabela 2.

Os mesmos comentários podem ser aplicados aos resultados apresentados na Figura 7 e na Tabela 3, os quais referem-se à temperatura do óleo mineral isolante dentro dos cilindros, expostos à radiação solar. Dentro da metodologia utilizada, a cor da tinta afetou sensivelmente a temperatura do óleo. A diferença de temperatura, nos casos das cores branca e preta (brilhantes), foi de 9 °C.

No que diz respeito ao brilho das tintas, nos cilindros vazios (sem óleo), praticamente, não se observou influência dos mesmos na absorção de calor, conforme pode ser observado na Figura 6. Já no caso dos cilindros contendo óleo mineral isolante, conforme mostrado na Tabela 3, para uma mesma cor, as películas foscas, acarretaram temperaturas mais elevadas ao óleo.

Portanto, nesta etapa do estudo, mostrou-se com números, dentro da metodologia utilizada, a influência da cor das tintas na absorção de calor, devida à radiação solar. Espera-se que, com estes números, haja uma maior conscientização na utilização correta das cores das tintas, pois através delas pode-se obter benefícios técnicos importantes, e não só efeitos estéticos como, em geral, se pensa. Dentro deste contexto, pode-se citar um trabalho feito pelo A.P.I. (*American Petroleum Institute*) e publicado no Brasil pela PETROBRAS (6). No referido trabalho, mostra-se que um determinado tanque de gasolina, sem pintura, perdia 1650 barris/ano por evaporação, decorrente do aumento de temperatura. Se o mesmo tanque fosse pintado na cor cinza, a perda era de 1350 barris/ano. Na cor branca, a perda era de apenas 950 barris/ano. Portanto, este é um exemplo prático que, além de corroborar com os resultados do presente trabalho, caracteriza bem a influência da cor das tintas e dos revestimentos em geral na absorção de calor.

Com relação ao estudo da etapa II, descrito no item 2.2.2, no qual se avaliou a influência da pintura e da cor das tintas na dissipação de calor, na ausência de radiação solar, os resultados apresentados nas Figura 8 e subsequentes, até a Figura 11, mostram que a pintura por si só, aplicada às placas de cobre, aumenta, de forma substancial, a capacidade de dissipação térmica do metal. Como consequência, a sobrelevação da temperatura deste metal, pela passagem da corrente elétrica, será menor quando estiver pintado.

Observando-se os resultados apresentados na Figura 8 e na Figura 10, verifica-se que, para uma potência dissipada de 400 W/m² na superfície das amostras, a sobrelevação de

temperatura, nas placas de cobre nuas, foi de aproximadamente 50 °C, enquanto que nas pintadas esta não atingiu 35 °C. Isto refletiu no fator de dissipação térmica, conforme pode ser constatado na Figura 9 e na Figura 11. As placas de cobre pintadas apresentaram fatores de dissipação bem mais elevados que aquelas sem pintura. Basicamente, não se observou influência da cor ou do brilho das tintas na dissipação de calor das amostras avaliadas. Este fato pode ser considerado normal uma vez que as tintas possuem emissividades próximas e não estavam sujeitas à incidência de radiação solar.

Quanto ao fato das placas de cobre pintadas terem apresentado sobrelevações de temperatura mais baixas, em relação às não pintadas, isto pode ser atribuído à emissividade dos materiais em questão. Uma placa de cobre polida possui emissividade de 0,04 enquanto que as películas das tintas, em geral, 0,90 a 0,95. Para uma determinada área, a perda de calor de uma superfície (q_T) é função da perda de calor por radiação (q_R) e da perda de calor por convecção (q_C), ou seja: $q_T = q_R + q_C$ (7), as quais são determinadas pelas equações abaixo:

$$q_R = \varepsilon \cdot \sigma (T_s^4 - T_a^4) \qquad q_c = h \cdot (T_s - T_a) \qquad \text{onde,}$$

ε = emissividade do material;

σ = constante de Stefan-Boltzman;

T_s = temperatura absoluta da superfície;

T_a = temperatura absoluta do ambiente;

h = coeficiente de película.

Obs.: Os conceitos técnicos tratados neste tópico, referentes à troca de calor, tiveram a participação do Eng. Evandro Sérgio Camelo Cavalcante, enquanto funcionário do CEPEL.

Quando a convecção é a mesma, a perda de calor passa a depender da radiação e, neste sentido, a emissividade é o fator determinante, uma vez que os outros parâmetros são constantes. Portanto, quanto maior for a emissividade maior será a dissipação de calor. Isto explica a razão das placas de cobre pintadas apresentar temperaturas mais baixas do que as não pintadas, de cobre nu.

Após a conclusão dos estudos da etapa em questão, os resultados obtidos foram fundamentais para solucionar problemas de desligamentos não programados em subestações, devido ao aquecimento de barramentos condutores elétricos, acima do limite da temperatura máxima de operação dos mesmos. De acordo com informações verbais dadas por técnicos do setor elétrico, a pintura dos barramentos, com a seleção correta da cor, em função das condições de exposição dos materiais, acarretou um abaixamento da temperatura do metal e os desligamentos, por temperatura excessiva, cessaram.

Portanto, este é mais um exemplo prático que mostra o benefício do estudo realizado. O levantamento dos dados numéricos foi fundamental para que técnicos e engenheiros passem a observar o potencial que os revestimentos e a cor das tintas de acabamento têm dentro da atividade industrial, principalmente no que diz respeito aos aspectos de absorção e dissipação de calor.

Conclusões

Considerando-se os objetivos do trabalho, as metodologias utilizadas em seu desenvolvimento, os resultados obtidos e a discussão dos mesmos, pode-se concluir que:

- a) A cor das tintas realmente tem uma influência substancial na absorção de calor, como previsto, decorrente da exposição à radiação solar. Neste sentido, a cor branca foi a que propiciou menor temperatura interna aos cilindros metálicos, bem como à parede dos mesmos, resultando em sobrelevação de apenas um a dois graus quando sob temperatura ambiente de 36 a 37 °C, conforme Tabela 2 e na Tabela 3. A cor preta, ao contrário, foi a que propiciou, tanto no interior dos cilindros quanto no metal, a sobrelevação de temperatura mais elevada, em torno de 11 a 13 graus. Quanto às demais cores, estas apresentaram comportamentos intermediários, porém diferenciados entre si.
- b) O brilho das tintas, praticamente, não influenciou na temperatura interna dos cilindros, para uma mesma cor. As diferenças observadas foram muito pequenas. Apenas no cilindro com óleo mineral isolante é que se observou, para uma mesma cor, que as películas foscas acarretavam um ligeiro aumento na temperatura do óleo.
- c) No que diz respeito à dissipação de calor, a pintura, por si só, acarretou uma redução substancial da sobrelevação da temperatura das placas de cobre, quando estas foram aquecidas por meio de corrente elétrica. Qualquer das pinturas ensaiadas resultou numa elevação da capacidade de dissipação térmica da superfície do cobre de 8,0 para 12 W/(m².°C), como mostrado na Figura 9 e na Figura 11. Concluiu-se, portanto, que o revestimento por pintura aumenta a capacidade de dissipação térmica da superfície do cobre. Não se observou influência da cor da tinta no processo de dissipação. Contudo, há que se ter em mente que este ensaio em particular foi realizado na ausência de radiação solar.

A influência da pintura na sobrelevação da temperatura de condutores elétricos sob efeitos simultâneos da corrente elétrica e da radiação solar constitui objeto de uma nova investigação experimental.

Referências Bibliográficas

- (1) KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor**, Edgard Blücher, p223, São Paulo, 1973.
- (2) MILASCH, M. **Manutenção de Transformadores em líquido Isolante**, Edgard Blücher, p204-206, São Paulo, 1984.
- (3) BOYLE, C. Comunicação Interna, **The Australian Institute of Tropical Architecture**, Australia, 1997.
- (4) SIEGEL, R. **Thermal Radiation Heat Transfer**, McGraw-Hill Kgakusha, p793-797, Tokyo, 1972.
- (5) GIER, J.T. & DUNKLE, R.V. **Selective Spectral Characteristics of Solar Collectors**, Trans. Tuscon Conference on Applied Solar Energy, Vol.2, 1957.
- (6) LOBO, A.C. e CAVALCANTI, P.F. **Avaliação Técnico-Econômica da Pintura Externa de Tanques de Armazenamento de Petróleo e Derivados**, 11 ° Seminário Nacional de Corrosão, ABRAÇO, p 106-114, Rio de Janeiro, 1984.
- (7) DEWITT, D.P e INCROPERA, F.P, **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, Editora LTC, 5^a edição, Rio de Janeiro, 2003.