

## Temperatura do reator eletromagnético HID em bancada

### HID electromagnetic ballast temperature on the workbench

**Elvo Calixto Burini Junior**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Energia e Ambiente; E-mail: elvo@iee.usp.br

**Resumo:** A resistência elétrica do enrolamento no reator eletromagnético para iluminação com lâmpada a descarga elétrica de alta intensidade foi considerada em bancada e a temperatura final ( $T_e$ ) determinada em experimento de longa duração. Foi verificada ampla variabilidade dos resultados o que indica necessidade de revisão na metodologia atual, principalmente em relação ao desligamento do reator para a medição da resistência elétrica, a quente. As determinações para  $T_e$ , ou  $\Delta T$ , a partir do método de variação da resistência elétrica do condutor utilizado atualmente resultaram em faixa com dispersão superior a  $\pm 5$  °C.

**Palavras-chave:** Reator HID, método da variação da resistência elétrica, elevação de temperatura do enrolamento de reator eletromagnética.

**Abstract:** The electrical resistance of the electromagnetic ballast winding used for illumination with high intensity electric discharge lamp was sampled on the laboratory's workbench and the winding final temperature  $T_e$  was determined from a long duration experiment. It was verified a wide variability of the results which indicates a need for revision in the methodology, especially in relation to the instant after the shutdown of the reactor, in which the hot electric resistance must be determined. The determinations for  $T_e$ , or  $\Delta T$ , from the method of variation of the electrical resistance of the conductor used today resulted in a range with dispersion higher than  $\pm 5$  °C.

**Keywords:** HID ballast, electric resistance variation methodology, ballast winding temperature rise.

#### 1. INTRODUÇÃO

O desempenho das lâmpadas a descarga em gases também as perdas elétricas dependem do tipo de reator. É sabido que a vida útil de um reator para lâmpada a descarga elétrica em gases é afetada diretamente na presença de calor, tendo por referência a temperatura do ambiente em espaço aberto ( $T_{amb}$ ). A temperatura de funcionamento do enrolamento do reator ( $T_w$ ) aumentará quando ele for colocado no interior de invólucro. No passado, as prescrições normativas fixavam para a

determinação da elevação de temperatura do enrolamento de reator eletromagnético ( $\Delta T$ ) a utilização de estufa onde o reator permanecia condicionado sob  $(40 \pm 2)$  °C. Após realizada a leitura da resistência inicial do enrolamento principal o circuito deve ser energizado tendo como carga a lâmpada à descarga para qual se destina [1]. Imediatamente após o desligamento, utilizado circuito tipo ponte (Kelvin ou Wheatstone) ao menos três leituras de resistência elétrica devem ser realizadas num intervalo de até 30 segundos

após o desligamento, devendo ser atribuído para o cálculo da temperatura final do enrolamento a quente ( $T_e$ ) o valor da resistência elétrica extrapolado a 5 s. O procedimento vigente indica, alternativamente, a realização da prática em bancada, espaço aberto e temperatura ambiente ( $t_{amb}$ ), que os terminais de carga do reator devem ser colocados em curto-circuito e a energização feita na condição de corrente elétrica nominal [2, 3]. Atualmente, a leitura da resistência do enrolamento tem sido realizada a partir de multímetro (no IEE/USP, modelo HP 34401A, na condição de dois fios/terminais) em substituição ao equipamento tipo ponte. Está prescrita a utilização de três reatores/peças para o ensaio referido. Tem sido prática corrente, no lab. IEE/USP, a energização das três peças em circuito paralelo. Isso simplifica o circuito de controle, utilizando apenas um "variac" e amperímetro. A alteração no procedimento referido foi solicitada decorrente de supervisão, dado que não é possível dispor de corrente elétrica semelhante em cada reator, mesmo se houver pequena diferença na resistência elétrica dos reatores. Portanto, os reatores passaram a ser energizados individualmente, no caso do presente estudo sob 4,6 A (lâmpada a vapor de sódio a alta pressão - LVSAP) e 4,0 A (lâmpada a vapor metálico, halogenetos - MVM). Na determinação da resistência elétrica do enrolamento quando realizada em estufa [3], existe tolerância menor, de 2 °C para a variação da temperatura ambiente em relação a variação admitida para o ensaio em bancada, de 5 °C. Para fixar referencial, foi acessado relatório de ensaio sobre três peças, reator HID (do inglês, High Intensity Discharge), MVM 400 W, uso interno, onde está fixado para ( $\Delta T$ ) a média de 62,0 °C, sendo os valores individuais de: (62,59; 61,90; 61,64) °C. Para a parte experimental do presente trabalho a resistência elétrica do enrolamento de três reatores eletromagnéticos sem encapsulamento e para lâmpada HID foi amostrada repetidamente ao longo de dez horas e durante período de 5 meses. A elevação da temperatura em relação ao ambiente ( $\Delta T = T_e - T_{amb}$ ) foi determinada conforme norma

técnica [1, 2, 3]. Uma variação não esperada nos dados coletados motivou a análise e revisão da metodologia: alteração no circuito de medição para quatro terminais/fios; a instalação de conectores soldados aos condutores terminais do reator (condutor do enrolamento: Alumínio); utilização de outros dois equipamentos para amostragem (marca AEMC, modelo 6250 e marca Megabrás, modelo MPK 204, *micro-ohmmeter*). A resistência inicial foi obtida por dois e quatro condutores, tendo sido o experimento conduzido com repetição. A temperatura média do ambiente foi mantida na faixa de  $(25 \pm 2)$  °C, subtraindo  $T_{amb}$  de  $T_e$  a elevação fica determinada ( $\Delta T = T_e - 25$ ) °C.

## 2. RESULTADOS

### 2.1 Amostragem com o HP 34401A (13/Out./2016)

A tabela 1 apresenta valores amostrados para a resistência elétrica inicial e final (sob corrente nominal de 4,6 A), equipamento modelo HP 34401A a dois condutores, ligação paralela dos 3 reatores (procedimento rotineiro no IEE) e a quatro condutores (alteração após supervisão).

**Tabela 1** - Resistência elétrica (HP 34401A) inicial ( $R_i$ ) e final ( $R_f$ ), valores em (m $\Omega$ ).

Resistência inicial/final e condição	Reator # 1	Reator # 2	Reator # 3
( $R_i$ ) 2 pontas	890	852	904
( $R_i$ ) 4 pontas	835	833	867
( $R_f$ ) 2 pontas	1181	1131	1121
( $R_f$ ) 4 pontas	1068	1087	1101

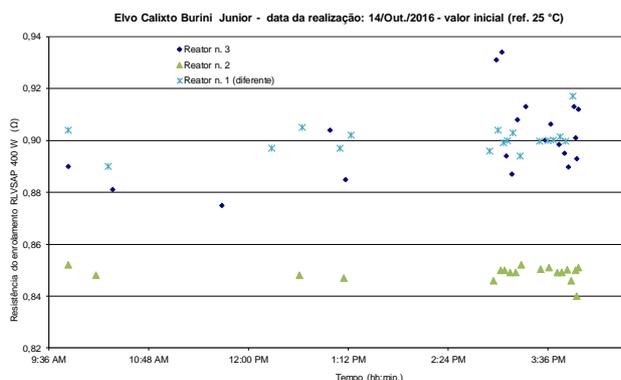
**NOTAS:** Data da amostragem 13/Out./2016; o reator # 1 possui núcleo com formato diferente; ambiente a 25 °C e umidade relativa 54 %.

A tensão elétrica de alimentação ficou ajustada em aproximadamente 180 V (para 4,6 A). A utilização de trafo elevador não ocorreu, o que possibilitaria a ligação série e a circulação de corrente elétrica única pelas três peças. A tabela 1 apresenta valores de resistência elétrica obtidas com o equipamento HP 34401A,  $R_{i/f}$ , para os 3 reatores, sendo que os valores são maiores para a condição de 2 pontas em relação a 4 pontas, o que já era esperado. A faixa de variação relativa entre a condição de duas e quatro pontas, para a  $R_i$  situou-se entre (2,3 a 6,6) % e para  $R_f$  entre (1,8 a 10,6) %. O reator # 3

apresentou faixa de variação da ( $R_i$ ) entre 2 e 4 pontas maior que a faixa de variação ocorrida em  $R_f$ , sendo que para as demais peças ocorreu o oposto.

## 2.2 Resistência elétrica inicial, em 14/Out./2016

Foram realizadas repetições sistemáticas de leituras da resistência elétrica inicial (HP 34401A) para as três amostras durante período de dez horas. O resultado em ordem cronológica da realização está apresentado pela figura 1.



**Figura 1** - Resistência elétrica inicial (HP 34401A) do enrolamento de três reatores, sem encapsulamento, conforme horário da leitura.

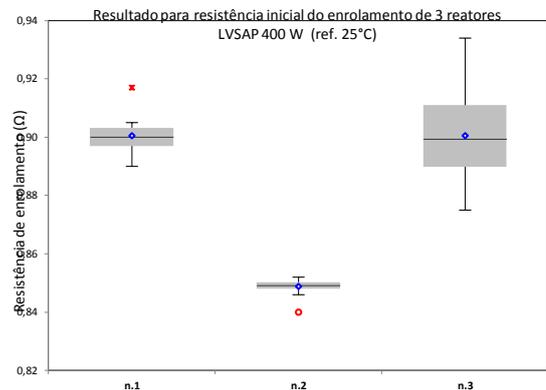
Para minimizar a dispersão alguns dos dados extremos (ver fig. 1) foram desconsiderados. Algumas hipóteses como “conexões frouxas” e omissão/erro, em particular, do instante em que houve a leitura da resistência a quente podem ter ocasionado a maior dispersão dos registros. A tabela 2 apresenta valores médios para a resistência elétrica inicial de cada reator sob corrente nominal 4,6 A, obtidos com o equipamento modelo HP 34401A e após o remoção de registros discrepantes, os quais numericamente se apresentavam mais distantes da média.

**Tabela 2** - Valor médio da resistência elétrica inicial ( $R_i$ ) do reator, valores em ( $m\Omega$ ).

Resistência inicial e condição	Reator # 3 (n=19)	Reator # 2 (n=18)	Reator # 1 (n=19)
( $R_i$ ) 2 pontas	$886 \pm 17$	$849 \pm 2$	$899 \pm 4$

Na figura 2 é apresentada a resistência elétrica inicial, estatisticamente tratada (14/Out./2016 e amostra não inferior a 14 registros/peça) para o

enrolamento dos três reatores HID, a dispersão associada (desvio padrão, quartil), valor médio, mediana, incluso registro que é considerado pouco provável (símbolo grafado na cor vermelha).



**Figura 2** – Resistência elétrica inicial do enrolamento de três reatores sem encapsulamento.

Na Figura 2 a maior área em tom cinza, associada ao resultado da amostragem do reator n. 3 reflete a dispersão de registros individuais que também pode ser observada na Fig. 1. O valor médio (símbolo diamante) é superior a mediana (traço horizontal). O resultado para o reator n. 2 possui dispersão bastante reduzida e apresenta um registro pouco provável (abaixo, de 840  $m\Omega$ ). O resultado para o reator n. 1 apresenta a segunda menor dispersão, explicita registro acima da média (cor vermelha) também pouco provável (917  $m\Omega$ ), sendo a média numericamente semelhante aquela do reator n. 3. Não foi verificada fidelidade no registro do período transcorrido entre o desligamento do reator e a leitura da resistência final do enrolamento. Quando foi solicitado o acionamento de cronômetro no instante do desligamento observou-se ocorrência da primeira leitura transcorridos cerca de 16-17 segundos. Isto sugere que é possível ocorrer diferença (a menor) entre o resultado informado em relatório de ensaio acessado, cuja dispersão da média é reduzidíssima, ( $\Delta T$ ) 62,0 °C ( $\pm 0,4\%$ ), e a situação real. A influência de um ambiente de referência, a 60 °C, também não tem registro sobre ter sido verificada.

## 2.3 Resistência elétrica, a partir Dez./2016

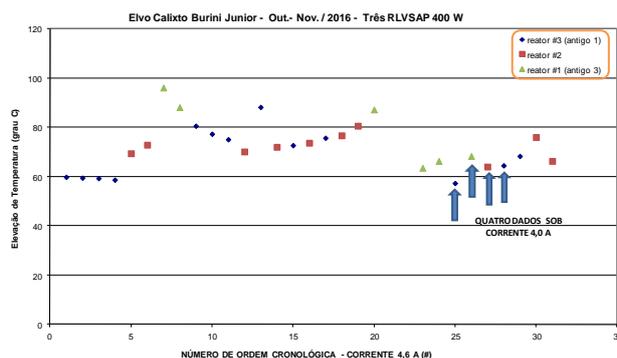
A leitura da resistência elétrica inicial foi realizada a partir de outros dois equipamentos, uma marca

AEMC, modelo 6250, a quatro condutores, tendo sido utilizada a condição de corrente elétrica: (1; 10; 100) mA e 1 A, esta última não é indicada por provocar aquecimento ao condutor; e o modo para medição de indutância. Uma amostra de registros para a resistência elétrica inicial de cada reator foi obtida a partir de um terceiro equipamento, marca Megabrás, modelo MPK 204 e escala de 100 mA (a quatro pontas ou Kelvin) apresentada na tabela 3.

**Tabela 3** - Valor médio (e ICB 95%) da resistência elétrica inicial ( $R_i$ ) do reator, sob 100 mA, equipamento MPK 204, valores em ( $m\Omega$ ).

Resistência inicial e condição	Reator # 1 (n=4)	Reator # 2 (n=4)	Reator # 3 (n=5)
( $R_i$ ) 4 pontas	$874 \pm 9$	$857 \pm 14$	$892 \pm 34$

Para outra amostra obtida com o MPK 204, em 06/Fev./2017, sem repetição, sob ambiente ( $26,6 \pm 0,2$ ) °C e 100 mA, foram obtidos os valores de 878 m $\Omega$  (reator # 1) e 865 m $\Omega$  (reator # 2); com dispersão ou incerteza estimada de 3,8 %. Um compêndio dos resultados de temperatura final do enrolamento  $T_e$ , reator sob 4,6 A e 4,0 A está apresentado pela figura 3.



**Figura 3** – A temperatura final ( $T_e$ ) para três reatores na ordem cronológica das determinações.

Uma estimativa para a  $T_e$  e faixa de variação, considerada a resistência elétrica obtida por dois operadores foi ( $78 \pm 7$ ) °C, cujo desvio é superior ao limite normativo prescrito de  $\pm 5$  °C [4]. Foi calculado ( $\alpha$ ), (ou  $K^{-1} = \Delta R / \Delta T$ ), e o resultado cotejado com ( $\alpha_{20,Al}$  391 m $\Omega$ /°C, à 20°C, dado teórico), a maior diferença relativa (teórico-calculado, n=26) foi de  $\leq -13\%$ .

### 3. CONCLUSÕES

Uma diferença significativa pode existir entre a temperatura do enrolamento e o valor que tem sido estimado devido à metodologia praticada. A medição da resistência de enrolamento cujo valor é utilizado no método para a determinação da elevação de temperatura de reator eletromagnético tipo HID, tem sido realizada no IEE/USP na condição de dois condutores, sendo o valor atribuído para a resistência final ou a quente em período superior aos 5 segundos prescritos: 16-17 segundos após o desligamento. No caso do equipamento 34401A, a diferença entre método de duas e quatro pontas revelou desvio relativo  $\leq 6,6\%$   $R_i$  e  $\leq 10,6\%$   $R_f$ . A incerteza que afeta a elevação da temperatura do enrolamento foi estimativa em 7 % (HP 34401A, duas pontas/condutores). A redução da incerteza poderá ser alcançada pela utilização do método de quatro pontos, com corrente elétrica acima de 1 mA, porém não superior a 15 % da corrente nominal para evitar alteração por aquecimento impróprio [5], isto ocorreu para instrumento na faixa de 1 A. A medição de resistência elétrica de enrolamento de reator VSAP 400 W pela utilização do multímetro HP 34401A e duas pontas/condutores não é recomendada e deve ser descontinuada. O método de quatro pontas (Kelvin) sob 100 mA, resultou em diferença no valor de 45 m $\Omega$ , a qual representa desvio relativo de 5,4 % para o valor da resistência.

**Agradecimentos** - A CAPES pelo suporte parcial a partir do projeto binacional n.048/2013, a empresa REPUME pelas 3 amostras de reatores.

### Referências

- [1] ABNT NBR 13594 - Reator e ignitor para LVSAP - Ensaio, 15p., 1996.
- [2] ABNT NBR 13593:2013 Reator para LVSAP – Especificação, 39p.
- [3] ABNT NBR 14305:2015 - Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos), 40p.
- [4] Portaria INMETRO n. 454, de 01/Dez./2010.
- [5] ABNT NBR 7569 - Reatores para sistemas de potência – Método de Ensaio, p.2, 1982.