



GRUPO - XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -
GTM**

**OBSERVAÇÕES DE FURNAS SOBRE A VELOCIDADE DE REAÇÃO DO ENXOFRE CORROSIVO GERADO
PELA REGENERAÇÃO DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE**

Mário Luiz Pereira Alves (*)
Furnas Centrais Elétricas

Vinícius Gabriel Macedo Cruz
Furnas Centrais Elétricas

RESUMO

Depósitos de material escuro, provavelmente sulfeto de prata, em contatos prateados de comutadores de tensão sob carga foram causadores de defeitos e falhas em equipamentos de Furnas Centrais Elétricas. Os depósitos foram formados após o óleo isolante destes equipamentos ter sido submetido a processo de regeneração por Unidade Móvel de Regeneração.

Entretanto, nem todos os equipamentos cujo óleo fora regenerado apresentaram defeito ou falha. Passados dois anos após os registros efetuados por Furnas, novas inspeções foram realizadas. Estas inspeções proporcionaram novas observações sobre o processo de reação do enxofre corrosivo com a prata existente nos contatos, bem como da velocidade desta reação.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores, Óleo Mineral Isolante, Regeneração, Enxofre Corrosivo, Sulfeto de Prata

1.0 - INTRODUÇÃO

A associação entre o processo de regeneração de óleo mineral isolante em unidades móveis de regeneração – UMR's, a formação de espécies corrosivas de enxofre, a geração de um material de coloração escura em contatos prateados e falhas e defeitos nos transformadores¹ de Furnas foi citada por ALVES (1), CRUZ (2) e PESSOA (3). Nestes trabalhos são indicadas as observações, estudos e ações preliminares da empresa.

Embora ALVES tenha citado que o processo de regeneração por UMR's tenha sido efetuado em cem equipamentos entre transformadores e reatores, somente haviam sido até então observados defeitos em dois transformadores e falhas em outros dois. Além disso, também foram observados depósitos em outros dois transformadores, totalizando seis equipamentos com depósitos. Os depósitos que causaram falhas e defeitos foram observados em contatos prateados de chaves seletoras de comutadores de tensão sob carga. Mas ressalta-se que também foram observados à época depósitos em contatos de comutadores sem tensão, ainda que estes depósitos não tivessem evoluído para defeitos ou falhas.

Outro ponto importante a destacar é que nos transformadores em que foram observados pontos quentes foi realizada manutenção com substituição das peças danificadas e processo de limpeza para retirada do depósito. Limpeza semelhante também foi efetuada nos dois transformadores em que foi observado o depósito, mas não houve evolução para ponto quente. Após a limpeza, o mesmo óleo, que havia sido regenerado pela UMR, foi colocado de volta nos transformadores.

¹ NOTA – O termo transformador se aplica também a autotransformadores e reguladores de tensão.

Embora a relação entre a quantidade total de equipamentos até então com depósitos identificados fosse relativamente baixa em comparação ao total de equipamentos cujo óleo fora regenerado em Furnas, seus efeitos causaram grandes custos a Furnas, considerando os equipamentos falhados, que precisaram ser repostos, e os custos dos recursos humanos necessários para execução dos serviços de limpeza. Além disso, a falha de um transformador pode ocasionar danos aos demais equipamentos instalados em seu entorno, aos operadores das subestações e ao sistema de transmissão.

Minimizar ou mitigar os riscos que o fenômeno de conversão de enxofre inerte em corrosivo poderia causar passou a ser uma das preocupações de Furnas, que continuou, e continua, trabalhando para entender o processo de geração de enxofre corrosivo e em métodos não invasivos para identificar se um equipamento cujo óleo fora regenerado apresenta potencial para geração do depósito de sulfeto de prata.

2.0 - A UTILIZAÇÃO DE UMR'S EM FURNAS

Conforme exposto por CRUZ, a regeneração de óleo mineral isolante pelo processo de adsorção por percolação, utilizado em UMR's, passou a ser adotado em Furnas a partir do ano 2000, então como serviço contratado a terceiros. A partir do ano de 2010, a empresa passou a efetuar a regeneração também com unidade própria (3). A Figura 1 mostra as quantidades de equipamentos cujo óleo foi regenerado por UMR's em Furnas, totalizando 107 equipamentos, entre transformadores e reatores. Desde o início dos serviços em 2000, por conta da perda das características dielétricas, dois transformadores tiveram seu óleo regenerado mais de uma vez. Para este trabalho estes equipamentos serão contabilizados uma vez, sempre considerando a data mais antiga.

Os registros até 2015 de falhas e defeitos envolvem apenas contatos prateados de chaves seletoras de comutadores sob carga, mas, ao longo destas mesmas inspeções também foram observados depósitos nas superfícies prateadas dos contatos dos comutadores sem tensão. Todos os problemas até então observados envolvem a geração de sulfeto de prata em contatos elétricos, seja pela geração de um ponto quente, seja pelo despreendimento do material quando da passagem do contato móvel pelo contato fixo. Por estas razões, não existe preocupação de Furnas com o aumento da reatividade do enxofre no óleo isolante de reatores. A Figura 2 mostra as quantidades de transformadores cujo óleo foi regenerado por UMR's por ano.

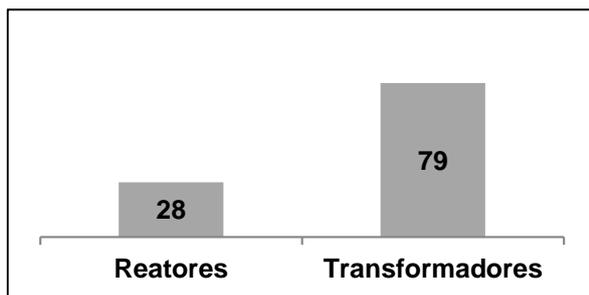


Figura 1 – quantidades de equipamentos cujo óleo foi regenerado.

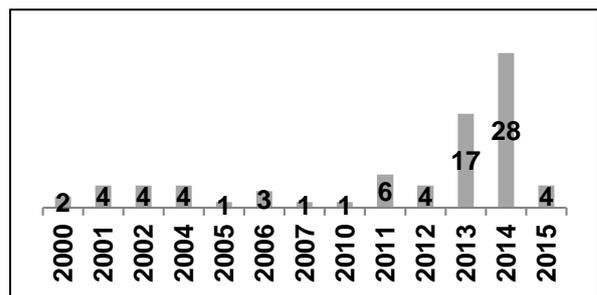


Figura 2 – quantidades de transformadores cujo óleo foi regenerado ano a ano.

Enquanto não possuía UMR própria, o serviço de regeneração de óleo isolante foi contratado por Furnas. As UMR's dos fornecedores e a de Furnas não apresentam diferenças significativas em seu funcionamento. A Figura 3 mostra a quantidade de transformadores cujo óleo isolante foi regenerado por Furnas e pelos três fornecedores contratados até hoje pela empresa, denominados X, Y e Z.

Dos 79 transformadores cujo óleo isolante fora regenerado, 54 possuíam OLTC. A Figura 4 mostra a distribuição destes OLTC's pelos seus diversos fabricantes, denominados M, N, L, O e P.

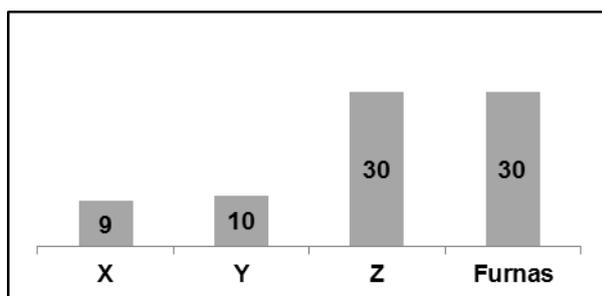


Figura 3 – quantidades de equipamentos cujo óleo foi regenerado por fornecedor.

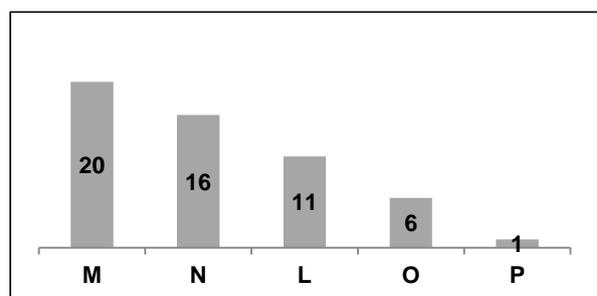


Figura 4 – distribuição do OLTC's nos transformadores cujo óleo foi regenerado.

3.0 - IDENTIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS DE SULFETO DE PRATA

A seguir serão apresentados todos os casos em que já foram verificados por Furnas depósitos de sulfeto de prata em equipamentos cujo óleo fora regenerado.

3.1 Subestação A

Em 2013 foram registradas duas falhas de transformadores em uma subestação, denominada subestação A, em que foram observados os depósitos nos contatos prateados das chaves seletoras dos OLTC's. As três unidades do banco de transformadores tiveram seu óleo regenerado por UMR. A terceira unidade, que não havia falhado, foi inspecionada e também foi encontrado o depósito, que foi retirado por abrasão (5). O mesmo óleo que fora regenerado retornou ao transformador após a limpeza.

No final de agosto de 2016, passados pouco mais de dois anos após a limpeza, houve nova ocorrência na subestação A com a falha do transformador cujo depósito fora retirado. Inspeção realizada identificou novos depósitos nos contatos prateados da chave seletora do OLTC e no interior da chave de carga. Os depósitos, mostrados na Figura 5, eram similares aos anteriormente verificados, de baixa aderência.

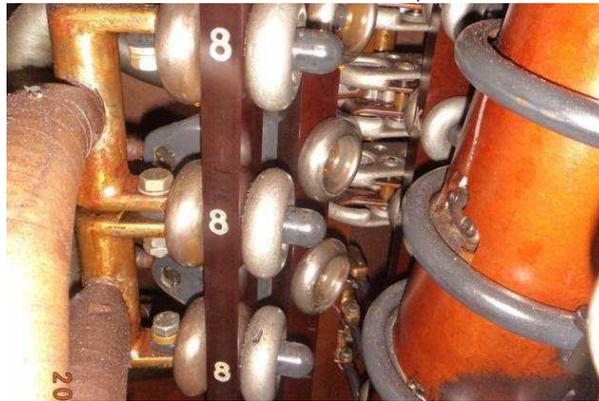


Figura 5

3.2 Subestação B

Conforme relatado por ALVES (1), o mesmo material já havia sido observado em dois transformadores em outra subestação, denominada subestação B. A identificação se originou em 2009 com a análise de gases dissolvidos no óleo isolante, que indicou a existência de pontos quentes, e que, na inspeção, se mostraram associados ao depósito do material. A terceira unidade do banco também foi inspecionada e, assim como nas outras duas que apresentavam pontos quentes, também havia o depósito de material nos contatos da chave seletora do comutador sob carga, mas sem a formação de ponto quente. Na época todos os equipamentos foram submetidos à limpeza e troca de peças e retornaram à operação. Da mesma forma que o transformador submetido à limpeza na subestação A, o óleo isolante destes transformadores não foi substituído.

Na subestação B, nove equipamentos tiveram seu óleo isolante regenerado, incluindo as três unidades citadas. Ao longo do ano de 2015, Furnas deu início à substituição dessas nove unidades, em função de sua obsolescência. A substituição dessas unidades proporcionou a oportunidade de realização de novas inspeções nesses equipamentos. Foram realizadas inspeções em sete das nove unidades, cujos resultados são mostrados a seguir.

O primeiro transformador foi inspecionado em 21 de abril de 2015. Este equipamento apresentava depósito e vestígios de um pequeno ponto quente, como pode ser observado na Figura 6.

O segundo transformador foi inspecionado em 30 de julho de 2015. Este equipamento foi um dos que apresentou ponto quente em 2009, sofrendo limpeza e substituição de peças. Na inspeção foram identificados novos depósitos, como pode ser observado na Figura 7.

O terceiro transformador foi inspecionado em 02 de outubro de 2015. Este equipamento apresentava depósito, conforme pode ser observado na Figura 8.

O quarto transformador foi inspecionado em 12 de novembro de 2015. Este equipamento também havia apresentado depósito durante inspeção em 2009, sendo submetido à limpeza. Na nova inspeção também foram identificados depósitos, como pode ser observado na Figura 9.

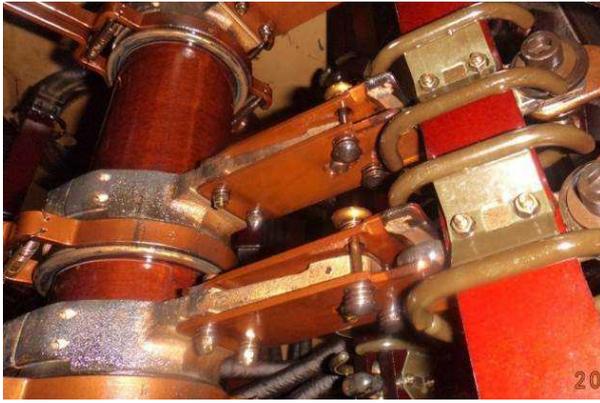


Figura 6



Figura 7



Figura 8



Figura 9

O quinto transformador foi inspecionado em 16 de fevereiro de 2016 e também apresentava depósitos, conforme pode ser observado na Figura 10.

O sexto transformador foi inspecionado em 14 de junho de 2016. Este equipamento apresentava depósitos, conforme pode ser observado na Figura 11. Ressalta-se que os transformadores estavam sendo alienados e que já havia sido retirada a tampa deste equipamento, permitindo a entrada de água da chuva.



Figura 10



Figura 11

O sétimo transformador foi inspecionado em 21 de junho de 2016. Assim como todos os outros, este equipamento apresentava depósitos, conforme pode ser observado na Figura 12.



Figura 12

3.3 Subestação C

Da mesma forma que na subestação na B, o depósito de material também já tinha sido observado em ao menos um transformador de uma terceira subestação de Furnas, denominada subestação C, em 2010. Sua observação também se deu com a análise de gases dissolvidos em óleo isolante, que apontaram a existência de ponto quente. Todo o OLTC foi submetido à limpeza e substituição de componentes. As Figuras 13 e 14 mostram o ponto quente identificado e depósito.



Figura 13

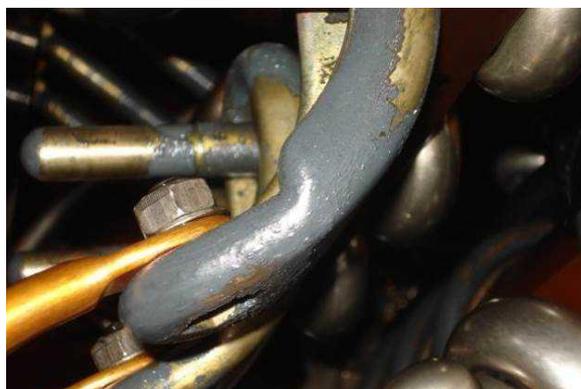


Figura 14

3.4 Subestação D

Em 2017, a análise de gases dissolvidos em óleo isolante identificou a existência de um ponto quente em um transformador em uma quarta subestação de Furnas, denominada subestação D. Inspeção realizada identificou depósitos de material nos contatos da chave seletora do comutador sob carga, entretanto o ponto quente observado não guardava relação com os depósitos. Em relação aos depósitos será efetuado o mesmo procedimento já adotado, com a limpeza dos mesmos. Entretanto, para diminuir a possibilidade de novos depósitos, o óleo isolante regenerado será descartado. As Figuras 15 e 16 mostram os depósitos.



Figura 15



Figura 16

4.0 - CONCLUSÕES

A necessidade de identificar a existência de depósitos de sulfeto de prata nos equipamentos cujo óleo fora regenerado sem que seja necessária a parada do equipamento continua sendo o maior desafio de Furnas. Para tanto é imprescindível o desenvolvimento de ensaios para determinar a existência dos depósitos ou para avaliação do potencial que um determinado óleo possui para conversão de espécies inertes de enxofre em espécies corrosivas. Até que estes ensaios existam e apresentem a confiabilidade necessária, toda e qualquer oportunidade de inspeção de equipamentos cujo óleo isolante foi regenerado pode trazer subsídios o desenvolvimento destes próprios ensaios.

Dos 54 transformadores que possuem OLTC e que são considerados por Furnas como os equipamentos que apresentam maior risco de que o depósito de sulfeto de prata, se gerado, venha a evoluir para um problema maior, seja um defeito ou falha, 11 já foram alienados por diversas razões, sem que tenha sido efetuada qualquer inspeção para verificação da existência de depósitos de sulfeto de prata, diminuindo a o universo para 43 transformadores. A identificação do depósito se faz através da inspeção interna. A motivação para esta inspeção pode ser a detecção de algum problema no transformador que justifique a drenagem do seu óleo, como um ponto quente identificado em análise de gases dissolvidos; a própria falha do equipamento ou ainda sua alienação por conta de substituição seja pelo fim de vida útil ou por superação. Até o momento de elaboração deste trabalho 13 transformadores sofreram uma primeira inspeção. Para este trabalho, o conceito de primeira inspeção se entende quando o depósito de sulfeto de prata foi observado pela primeira vez em um transformador. Como nas subestações A e B houve nova observação da existência de depósitos mesmo após limpeza efetuada por ocasião da primeira inspeção, considera-se que nestes equipamentos ocorreu uma segunda inspeção. A Tabela 1 mostra estes treze equipamentos relacionando a subestação em que se encontrava localizado o transformador; a motivação para realização da primeira inspeção; o intervalo em meses entre a regeneração do óleo isolante e a primeira inspeção; a motivação para a realização da segunda inspeção; e o intervalo em meses entre a regeneração e a segunda inspeção.

Tabela 1

#	Subestação	Primeira Inspeção		Segunda Inspeção	
		Motivação	Intervalo entre Regeneração e Inspeção (meses)	Motivação	Intervalo entre Regeneração e Inspeção (meses)
1	B	Alienação	109	-	-
2	B	Alienação	131	-	-
3	B	Alienação	138	-	-
4	B	Alienação	143	-	-
5	B	Alienação	145	-	-
6	A	Falha	2	-	-
7	A	Falha	14	-	-
8	A	Inspeção	6	Falha	44
9	D	Inspeção	32	-	-
10	B	Inspeção	50	Alienação	132
11	B	Ponto quente	26	-	-
12	B	Ponto quente	33	Alienação	106
13	C	Ponto quente	97	-	-

4.1 Observações sobre a velocidade de reação do enxofre com a prata.

Em cinco transformadores (#1 a 5) o depósito nunca gerou defeito ou falha, somente sendo observado quando da alienação dos mesmos. Em um deles (#5), o intervalo entre a regeneração e a alienação supera os doze anos. A mesma ausência de defeito ou falha se dá em outros dois transformadores: no da subestação D (#9) e outro na subestação B (#10), embora este último tenha sido submetido à limpeza para retirada do depósito, sendo novamente detectado em uma segunda inspeção. Desta forma, em sete equipamentos o depósito não evoluiu para falha ou defeito.

Foram verificadas três falhas, todas na subestação A (#6 a 8). Em um destes transformadores o intervalo entre a regeneração e a falha foi extramamente rápida, de apenas dois meses. Também interessante destacar que, embora tenha sido efetuada a limpeza após a primeira inspeção em um dos transformadores (#8), a falha ocorreu após três anos desta. Também foram detectados três pontos quentes associados aos depósitos (#10 a 12).

Em três transformadores foram detectados depósitos em uma segunda inspeção (#8, 10 e 12), após limpeza realizada como consequência da primeira inspeção. Isto significa que o óleo isolante continuou reagindo com a prata, indicando que ainda havia enxofre corrosivo misturado.

Em resumo, são verificados depósitos desde apenas dois meses até mais de doze anos após a regeneração. O

que indica que a formação do depósito ocorreu tanto de forma rápida quanto de forma lenta. Esta velocidade de formação pode guardar relação com as características do óleo. A suspeita de Furnas repousa sobre a quantidade de enxofre total no óleo isolante, mas ainda não foi possível estabelecer esta relação.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) M. L. P. ALVES, V. G. M. CRUZ, C. D. PESSOA – Estudos de Furnas sobre a relação entre a deposição de sulfeto de prata em transformadores e a regeneração de óleo mineral isolante – XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2015.
- (2) V. G. M. CRUZ, M. L. P. ALVES, C. D. PESSOA – Estudos de Furnas sobre a identificação de enxofre corrosivo em óleo mineral isolante após a regeneração e sobre a predição do potencial aumento de corrosividade – XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2015.
- (3) C. D. PESSOA, M. L. P. ALVES, V. G. M. CRUZ – Alterações efetuadas por Furnas na unidade móvel de regeneração de óleo mineral isolante devido a ocorrência da conversão de compostos inertes em compostos corrosivos de enxofre – XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2015.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Mário Luiz Pereira Alves, nascido no Rio de Janeiro em 1970. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Veiga de Almeida (RJ) em 2003. Possui especialização em Gerenciamento de Projetos pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2008). Atuou nas áreas de manutenção, engenharia de manutenção e qualidade do fornecimento de energia elétrica das distribuidoras Light Serviços de Eletricidade e Ampla Energia e Serviços, ambas do Estado do Rio de Janeiro. Atualmente atua na Engenharia de Manutenção de Furnas Centrais Elétricas, com equipamentos de pátio de subestações.



Vinicius Gabriel Macedo Cruz nasceu em 1986 no Rio de Janeiro. Recebeu os títulos de Bacharel em Engenharia Química e de Mestre em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), respectivamente, em 2010 e em 2015. Desde 2010, ele desempenha a função de engenheiro de manutenção na Divisão de Equipamentos de Transformação de Furnas Centrais Elétricas, onde atua, principalmente, no planejamento de atividades de manutenção preventiva e preditiva, no diagnóstico de defeitos incipientes e na análise de falhas em transformadores de potência e em reatores paralelos.