



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GTM/26
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XIII

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

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.

Clayton Duarte Pessoa(*)
Furnas Centrais Elétricas

Mário Luiz Pereira Alves
Furnas Centrais Elétricas

Vinícius Gabriel Macedo Cruz
Furnas Centrais Elétricas

RESUMO

A ocorrência de falhas e defeitos em equipamentos de Furnas ocasionados por sulfeto de prata alertou para a presença de compostos corrosivos de enxofre no óleo isolante destes equipamentos. A pesquisa da fonte dos compostos de enxofre lançou a suspeita da possibilidade do processo de regeneração do óleo efetuado por unidade móvel de regeneração – UMR, gerar enxofre corrosivo durante sua operação.

O entendimento do funcionamento da UMR, sua relação com o enxofre corrosivo e as modificações necessárias para evitar seu aparecimento se tornaram de extrema importância para a manutenção da confiabilidade do sistema elétrico da empresa.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores, Óleo Mineral Isolante, Regeneração, Enxofre Corrosivo

1.0 - INTRODUÇÃO

Furnas possui cerca de 980 equipamentos entre transformadores, autotransformadores e reatores. Esses equipamentos representam um volume total aproximado de 40.000.000 de litros de óleo mineral isolante. Com o passar do tempo em operação, o óleo mineral isolante perde suas características originais, devido ao processo de oxidação, o que pode ocasionar falha destes equipamentos e consequente distúrbio indesejado ao sistema elétrico.

Uma das principais características indicativas da qualidade do óleo mineral isolante é a tensão interfacial, que é inversamente proporcional à concentração de substâncias polares dissolvidas no óleo. Estas substâncias prejudicam as propriedades dielétricas do óleo, além de contribuírem para o seu envelhecimento. Um alto valor é, portanto, desejável. Furnas adota como valor mínimo de tensão interfacial para seus equipamentos 23 mN/m. Abaixo deste valor, o óleo deve ser submetido à regeneração. Inicialmente, o óleo isolante que apresentava valor baixo de tensão interfacial era drenado do equipamento e encaminhado para empresas especializadas na prestação do serviço de regeneração, que operavam em suas instalações plantas industriais fixas para o tratamento do óleo. Obviamente, o óleo deveria ser transportado até as empresas. A partir do ano 2.000 Furnas, sem interromper o envio do óleo para plantas fixas de regeneração, iniciou experimentalmente o procedimento de regeneração de óleo isolante com a utilização de plantas móveis.

Uma unidade móvel de regeneração – UMR é uma pequena planta industrial montada sobre uma carroceria de caminhão, o que permite transportar a planta de regeneração até o óleo. Sua vantagem reside no fato de não ser necessária a retirada do óleo isolante do equipamento para realizar sua regeneração, mais ainda: a regeneração é efetuada com o equipamento energizado. Outra vantagem da UMR em relação às plantas fixas consiste na não

(*) Rua Carmo do Rio Claro, n° 80 – CEP 37.945-000, São José da Barra, MG – Brasil.
Tel.: (+55 35) 3523-5909 – Fax: (+55 35) 3523-5803 – Email: cduarte@furnas.com.br

geração de resíduos, uma vez que a terra Fuller (material adsorvente) utilizada no processo é submetida a um processo de reativação, através de calor, o que permite reutilizá-la em vários processos de regeneração. Nas plantas fixas, uma vez estando a terra Fuller saturada, a mesma deveria ser descartada.

Inicialmente, os serviços de regeneração por UMR's eram prestados a Furnas por empresas contratadas, mas em 2.010, a empresa adquiriu um equipamento para a realização do trabalho utilizando sua mão de obra própria.

Mas análises de falhas e defeitos em equipamentos de duas subestações de Furnas identificaram como causa depósitos de sulfeto de prata em contatos prateados de chaves seletoras. O sulfeto de prata teria sido originado pela UMR, como um subproduto do processo de regeneração. Esta possibilidade motivou Furnas a estudar o funcionamento de sua UMR.

2.0 - FUNCIONAMENTO DA UMR DE FURNAS

O equipamento adquirido por Furnas processa em média 60.000 litros de óleo em 24 horas de trabalho, apresentando um rendimento médio de 5.000 litros regenerados nas mesmas 24 horas. O funcionamento da UMR é controlado por computador localizado em uma sala de controle montada na própria carroceria do caminhão, ou ainda através de painel instalado no equipamento. Ainda que tenha sido projetada com todas as proteções necessárias para uma operação segura, por estar tratando equipamento energizado, toda a operação é assistida permanentemente. A Figura 1 mostra a UMR de Furnas.



Figura 1

A Figura 2 mostra um diagrama simplificado do seu funcionamento¹.

Uma tubulação é conectada à válvula de dreno inferior do equipamento cujo óleo será regenerado. A bomba B1 é responsável por forçar a circulação de óleo para dentro da UMR. A UMR de Furnas possui dois conjuntos de doze colunas de adsorção preenchidas com terra Fuller. Desta forma, quando um conjunto de colunas satura e não consegue mais efetuar seu trabalho, ele é substituído pelo outro e submetido à reativação. Os dois conjuntos de colunas de adsorção são representados por C1 e C2 e as válvulas de entrada V1 e V2 permitem a escolha de qual conjunto irá operar sendo aberta uma das válvulas de saída V3 ou V4, conforme o conjunto que estiver sendo utilizado, para permitir o retorno do óleo ao equipamento, normalmente pelo tanque de expansão, através da bomba B2.

Quando o conjunto de colunas que iniciou o trabalho satura, a válvula de saída correspondente é fechada e são abertas as válvulas de entrada e saída da outra coluna, de forma a permitir a continuidade do trabalho. Em conjunto é aberta a válvula de drenagem do óleo correspondente, V5 ou V6, da coluna de adsorção saturada e o óleo que ainda se encontra no interior da mesma é drenado para o vaso de drenagem T1, através da bomba B3. Como T1 possui uma pequena capacidade de armazenamento, quando o mesmo enche o óleo é transferido para o tanque de armazenamento temporário T2.

¹ O diagrama mostrado visa permitir explicar o funcionamento da máquina de forma simplificada, não representando o diagrama completo da UMR.

Para a reativação da coluna saturada, sua resistência de aquecimento, R1 ou R2, é ligada e inicia-se a elevação da temperatura da coluna para cerca de 700 °C, visando a volatilização dos compostos adsorvidos. Cabe ressaltar aqui duas informações: esta temperatura não é alcançada imediatamente após o acionamento da resistência; e durante o processo de reativação, se faz necessária a existência de um volume mínimo de óleo no interior da coluna.

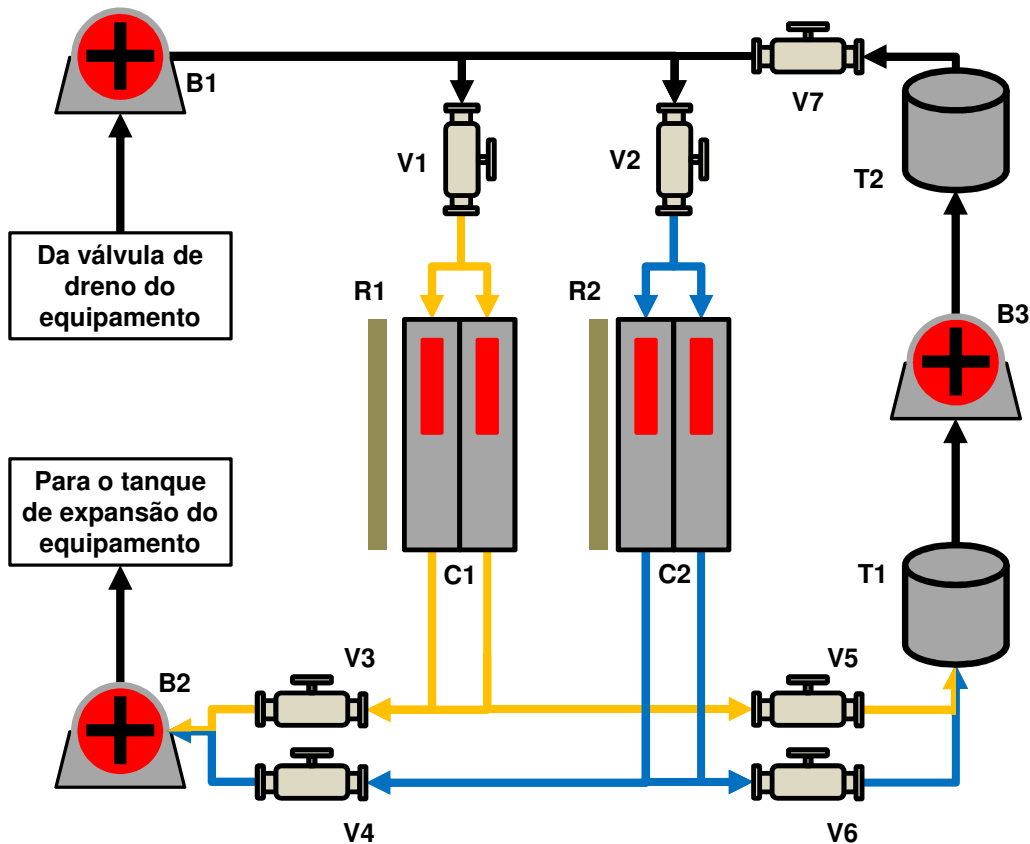


Figura 2

3.0 - SOBREAQUECIMENTO DO ÓLEO ISOLANTE NO PROCESSO DE REGENERAÇÃO

Análises realizadas para investigação de causas de defeitos e falhas em equipamentos de Furnas identificaram depósitos de material sólido de coloração escura em contatos prateados de chaves seletoras de comutadores sob carga. A literatura técnica (1-3) relaciona, após a investigação de casos semelhantes aos de Furnas, o depósito do material, formado por enxofre e prata, à formação de compostos corrosivos de enxofre durante o processo de regeneração do óleo isolante por UMR's, mais especificamente, durante a reativação das colunas de adsorção. Três dos equipamentos de Furnas em que haviam sido identificados os depósitos tiveram seus óleos regenerados por plantas móveis de uma empresa contratada enquanto outros três, pela UMR de Furnas.

Conforme a NBR 5416 (4), a temperatura limite de trabalho do óleo isolante em condições normais de operação é de 105 °C. Já a NBR IEC 60085 (5) estabelece que classe térmica é o valor de temperatura máxima de utilização contínua e que um isolante trabalhando em temperaturas maiores que os de sua classe térmica poderá ter sua expectativa de vida comprometida.

A análise do funcionamento da UMR de Furnas permite verificar que parte do óleo isolante é submetida a temperaturas de até 700 °C. Enquanto a temperatura da coluna, e do óleo em seu interior, está subindo, o óleo continua sendo bombeado para o vaso de drenagem T1 e o tanque de armazenamento temporário T2; certamente uma quantidade de óleo submetida a temperaturas superiores a 105 °C também é transferida para estes pontos. Ainda, uma pequena parcela do óleo que foi submetida às elevadas temperaturas de reativação acaba sendo arrastada pelo fluxo de resíduos voláteis, mas é, também, recuperada por condensação e encaminhada a T1 e T2. Na análise efetuada, não foi possível determinar a quantidade exata de óleo submetido a elevadas temperaturas que é recuperado no processo, mas este volume de óleo isolante apresenta grandes chances de ter sofrido alterações nas suas características físico-químicas. Além disso, conforme DAHLUND (1), a exposição do óleo a temperaturas maiores que 275 °C pode ocasionar a conversão de enxofre inerte em corrosivo.

4.0 - INSPEÇÃO DA UMR DE FURNAS

Uma consequência da eventual geração de compostos corrosivos de enxofre no processo de reativação das colunas de adsorção seria a reação destes compostos com outros materiais ao longo do circuito do óleo isolante, seja no interior do próprio equipamento cujo óleo se encontra em processo de regeneração, seja no interior da própria UMR. Esta possibilidade levou Furnas a realizar inspeções internas nos componentes da UMR, principalmente naqueles que recebem o óleo das colunas de adsorção durante o processo de reativação, ou seja, no tanque de armazenamento temporário T2. A inspeção mostrou que as paredes internas desse componente, fabricado em aço carbono, se encontrava com vestígios de corrosão, conforme pode ser verificado nas Figuras 3 – (a), 3 – (b) e 3 – (c). Além dos vestígios de corrosão, também foi observada a presença de uma massa, similar à borra, no interior do tanque de armazenamento temporário T2, conforme pode ser observado na Figura 3 – (d).

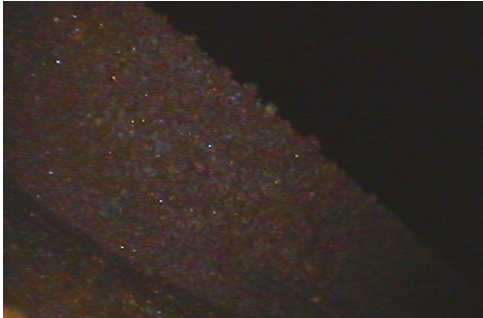


Figura 3 – (a) – Parede interna do tanque de armazenamento temporário T2

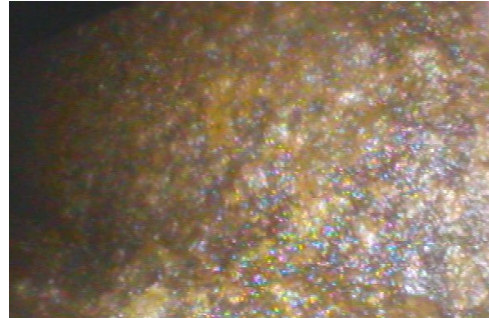


Figura 3 – (b) – Parede interna do tanque de armazenamento temporário T2



Figura 3 – (c) – Parede interna do tanque de armazenamento temporário T2



Figura 3 – (d) – Massa similar à borra no tanque de armazenamento temporário T2

Não deveria haver corrosão nas paredes destes componentes. Na literatura pesquisada (1-3) também havia o registro do encontro de vestígios de corrosão nos componentes de UMR's.

Como não é possível efetuar a reativação das colunas de adsorção sem a presença de óleo no interior das mesmas, o óleo submetido às temperaturas maiores que as de sua classe térmica não deveria ser utilizado. Fazia-se necessária, portanto, a alteração do processo de operação da UMR, ainda que não fosse possível comprovar a relação entre a reativação das colunas de adsorção e a geração de compostos corrosivos de enxofre.

5.0 - ALTERAÇÕES DA UMR DE FURNAS

A primeira constatação realizada é que haveria a necessidade de se prover algum meio de se dificultar as reações de corrosão nos componentes da UMR. Para esta alteração da UMR, a primeira alternativa cogitada foi a substituição tanque de armazenamento temporário T2 por tanque de aço inox, mas esta alternativa se mostrou de complexa execução, devido à posição de T2 na UMR, além de economicamente inviável. A segunda alternativa estudada foi a instalação de escotilhas em T2 para permitir a limpeza do interior do mesmo e realizar pintura interna com tinta epóxi. A instalação das escotilhas facilitará também inspeções e limpezas futuras.

Por princípio, a UMR foi criada para não gerar resíduos oriundos do processo de regeneração. Observa-se que não mais será possível manter esta característica da planta, pois é necessária a presença de óleo na coluna de adsorção para que seja possível sua reativação. Como a reativação ocorre por aquecimento e a temperatura é maior que a classe térmica do óleo, o mesmo deverá ser descartado. A segunda alteração da UMR visa o descarte do óleo que foi exposto às elevadas temperaturas da reativação. A Figura 4 mostra as modificações que serão efetuadas na UMR para permitir o descarte deste óleo. A modificação considera a inclusão de duas válvulas, V8 e V9, que permitirão a retirada do óleo indesejado, para possibilitar seu descarte. O controle de abertura e

fechamento das novas válvulas deverá ser feito automaticamente, de acordo com a temperatura das colunas durante a reativação.

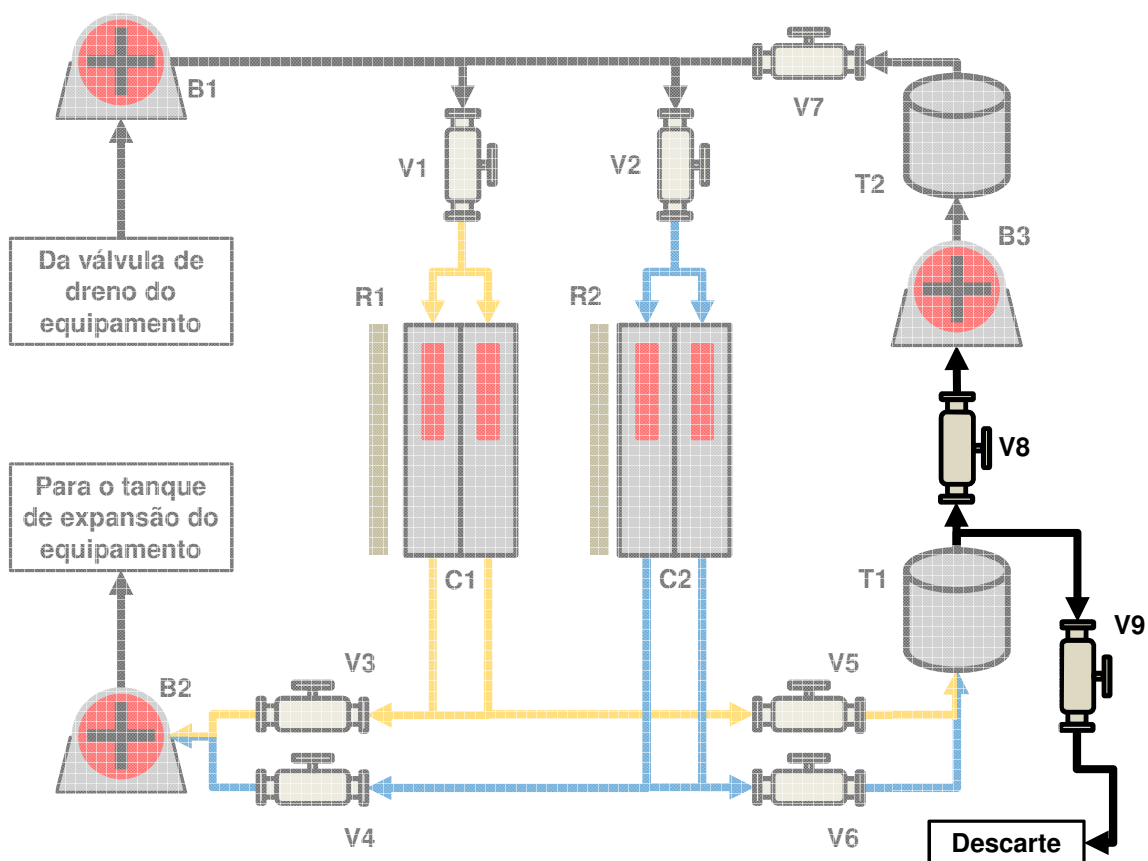


Figura 4

A terceira alteração na UMR diz respeito à sua configuração. Uma vez reativada a coluna, a resistência de aquecimento é desligada e a temperatura começa a diminuir. O programa de controle da UMR permitia o retorno do óleo isolante à coluna de adsorção quando a temperatura atingisse 200 °C. Além do óleo que se encontrava na coluna durante a reativação e que sofria sobreaquecimento, a UMR permitia a entrada de mais óleo quando a coluna de adsorção ainda se encontrava em uma temperatura ainda danosa ao óleo.

6.0 - CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

A regeneração de óleo isolante por unidades móveis de regeneração em equipamentos energizados é uma alternativa eficaz e econômica para mantê-los em condições operativas.

A constatação de que uma parcela do óleo em processo de regeneração era sobreaquecido motivou Furnas a realizar alterações de componentes e procedimento de operação da UMR, listadas a seguir:

- Pintura interna de componentes da UMR com tinta epóxi;
- Instalação de válvulas, com controle de temperatura, para permitir o descarte do óleo sobreaquecido;
- Alteração lógica no procedimento de reenchimento das colunas, após a reativação.

Após a execução destas alterações, será executado um acompanhamento do funcionamento da UMR visando monitorar a quantidade de óleo isolante que deverá permanecer nas colunas de adsorção para permitir sua reativação. Este monitoramento objetiva manter apenas a quantidade mínima de óleo necessária à reativação e minimizar, assim, o volume de óleo descartado. As alterações promoverão a capacidade de realização de limpeza e manutenção adequada da UMR, além da adoção de procedimentos operacionais mais controlados com relação à geração de compostos de enxofre corrosivo, mantendo a viabilidade técnica dos trabalhos de regeneração.

A literatura técnica também sugere que apenas o calor irradiado das colunas para o tanque auxiliar durante a reativação, já seria suficiente para causar a conversão de compostos inertes de enxofre em compostos corrosivos. De forma a analisar esta possibilidade, serão instalados termopares para permitir a realização de medições de temperatura nas paredes do tanque T2 próximas às colunas, para verificar se realmente esta temperatura é alta suficiente para estimular esta reação.

Considerando o universo de equipamentos com óleo mineral de Furnas, também se faz importante a definição de uma forma de diagnosticar o potencial de geração de enxofre corrosivo de um óleo mineral antes de sua regeneração.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) M. DAHLUND, H. JOHANSSON, U. LAGER, G. WILSON. Understanding the presence of corrosive sulfur in previously non-corrosive oils following regeneration – 77th Annual International Doble Conference, 2010, pp. 1-12.
- (2) A. F. HOLT, M. FACCIOTTI, P. AMARO, R. C. D. BROWN, P. L. LEWIN, J. A. PILGRIM, G. WILSON, P. JARMAN. An initial study into silver corrosion in transformers following oil reclamation – Electrical Insulation Conference, 2013, pp. 469-472.
- (3) A. F. HOLT, M. FACCIOTTI, P. AMARO, R. C. D. BROWN, P. L. LEWIN, J. A. PILGRIM, G. WILSON, P. JARMAN – Silver Corrosion in Transformers – Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2013, pp. 448-451.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5416: Aplicação de cargas em transformadores de potência – Procedimento, 1997.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR IEC 60085: Isolação Elétrica – Avaliação térmica e designação, 2012.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Clayton Duarte Pessoa, nascido em Nova Lima – MG em 23 de Março de 1978. Trabalha com Ensaaios Especiais em Transformadores de Potência de Instrumentos em Furnas Centrais Elétricas desde 2008. Demais experiências e formações: Especialização em Energias Renováveis – UFF 2015; Especialização em Manutenção do Sistema Elétrico – UNIFEI 2013; Manutenção em Linhas de Transmissão – CEMIG 1995/2004; Engenharia de Manutenção de Linhas de Transmissão – FURNAS 2004/2008; Graduação em Engenharia Elétrica – PUC Minas 2002; Técnico em Mecânica – CEFET MG 1996.



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.