

Reforma de Transformadores de Distribuição com Benefícios na troca do óleo mineral por óleo vegetal

Tema: Redes de Distribuição

Autores: Gustavo Seixas Mendonça,

Co-Autores: Rafael Furtado Seeberger, Luana de Melo Gomes, Amancio Fabião Esteves, Mikaella de Souza Possmozer, Fábio Souza da Silva

Empresa: EDP São Paulo Distribuição de Energia S.A

Resumo

Com intuito de agregar valores à sua operação, a empresa EDP realizou um projeto piloto de serviços de reforma de transformadores de distribuição de rede aérea com reforma total dos equipamentos, com a troca do óleo mineral isolante por óleo vegetal isolante FR3. Este artigo trará as motivações da EDP para a troca do óleo isolante em transformadores reformados, assim como apresentará os benefícios no desempenho na operação destes equipamentos. Dados operacionais do processo de reforma completa de um lote de 14 transformadores de distribuição com potências de até 112,5 kVA e tensões máximas de 13,8 kV trarão importantes dados para o setor elétrico nacional.

1. Introdução

A EDP São Paulo é uma concessionária de energia que presta serviços públicos de energia elétrica em 28 municípios do estado de São Paulo.

Buscando agregar conceitos de inovação, sustentabilidade e, principalmente extensão de vida na operação de transformadores de distribuição de rede aérea, a EDP iniciou estudos em 2016 para alterar o padrão de líquido isolante nestes transformadores novos.

No início de 2019, a totalidade da aquisição de novos transformadores foram migrados para líquido isolante vegetal. No entanto, como é prática na EDP a reforma total ao parcial de transformadores retirados da rede, continuou-se com a reforma de transformadores isolados a óleo mineral.

Em outubro de 2019, iniciou-se um projeto piloto para incorporar o óleo vegetal isolante na reforma total de transformadores retirados das redes aéreas de distribuição monofásicas e trifásicas, com potência nominal até 750 kVA, classe de tensão primária até 36,2 kV.

2. Desenvolvimento

Falhas em Transformadores de Distribuição

As falhas em transformadores de distribuição são um tema crítico no setor elétrico nacional tendo em vista as penalidades aplicadas pelo órgão regulador ANEEL às concessionárias de energia por eventual

indisponibilidade de eletricidade através da medição de indicadores coletivos de continuidade como o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por unidade consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por unidade consumidora) e baixa de ativo antes da depreciação completa do equipamentos, 25 anos para transformador aéreo.

A EDP, preocupada com o assunto, solicita à reformadora contratada que, durante a avaliação efetuada no transformador com falha, seja emitido um relatório com diagnóstico das causas de defeitos dos equipamentos e que a classificação seja conforme as características listadas na Tabela I.

Queima	Descarga atmosférica
	Curto-circuito interno
	Curto-circuito externo
	Sobrecarga
	Infiltração de água

Tabela I – Classificação das causas dos defeitos

Os transformadores de distribuição podem falhar por diversas causas sem serem necessariamente de origem elétrica, como apontado por [1] no levantamento de parâmetros envolvidos no problema que incluíam desde condições ambientais até performance dos componentes do transformador. Em uma abordagem menos holística, a proposta de [2], sugere que as causas das falhas de transformadores de distribuição podem ser agrupadas basicamente em 4 raízes: envelhecimento, inadequação, fadiga e surtos.

Envelhecimento

Transformadores de distribuição apresentam uma tendência de aumento da taxa de falha à medida que envelhecem. Por outro lado, a taxa de falha também costuma ser mais elevada no início da vida. Tais falhas no início de vida se devem a problemas de fabricação para transformadores novos, ou de reparação para transformadores recuperados. Assim, costuma-se atribuir três fases com categorias distintas de falhas em função da idade dos equipamentos. Fase 1: “mortalidade infantil”. Fase 2: falha aleatória ao longo da vida útil, com taxa baixa e aproximadamente constante. Fase 3: “período de desgaste”, com taxa crescente. Essas fases são bem caracterizadas pela conhecida curva “banheira”, conforme apresenta a Figura 1.

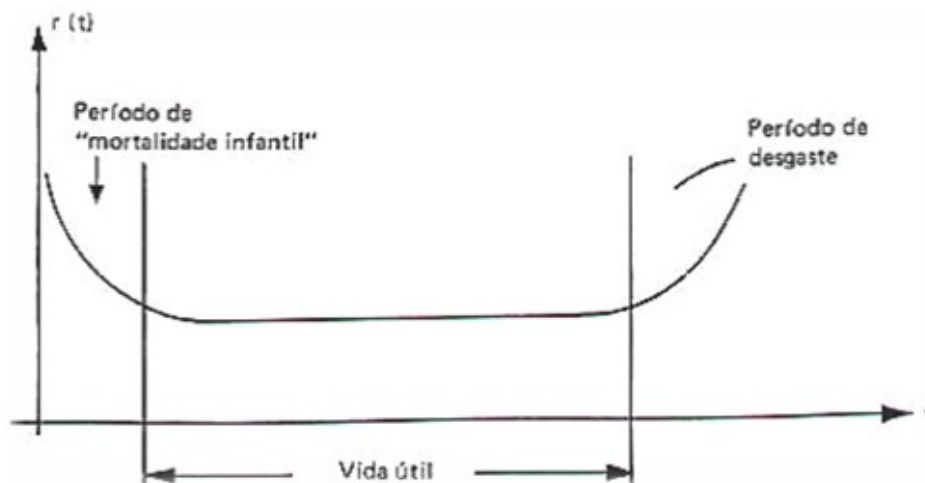


Figura 1 – Curva da “banheira” e as taxas de falhas

Inadequação da Instalação

Uma instalação de um transformador é considerada inadequada quando apresenta alguma violação em relação aos padrões e normas de projeto ou montagem. Nesse caso o transformador não está adequadamente protegido, ou não é apropriado para atendimento da carga demandada. Entre as violações mais comuns destacam-se: para-raios inexistente, aterramento do tanque ou neutro desconectado, resistência de aterramento elevada, elo fusível desajustado, comutador de tensão em posição errada ou potência inferior à carga demandada.

Fadiga

É razoável presumir que cerca de 90% das falhas em transformadores de distribuição estejam associadas à perda de capacidade de isolamento ou interrupção das bobinas. O isolamento de papel impregnado a óleo apresenta uma tendência de degradação química e mecânica com a temperatura, com situação agravada quando o tipo do óleo isolante é o mineral. Esses fenômenos são cumulativos, sendo mais severos quanto maior for a temperatura. A ação deletéria do sobreaquecimento em transformadores isolados com óleo mineral resulta num envelhecimento acelerado do transformador que acaba por causar falhas precoces.

Surtos

Descargas atmosféricas nas proximidades de um transformador de distribuição podem atingir a rede (descargas diretas) ou a vizinhança (descargas induzidas). Em ambos os casos serão impostos surtos de tensão e corrente, no primário e no secundário. As características desses surtos são diferenciadas em função do ponto de impacto, ou seja, direto/induzido e primário/secundário e da intensidade. Surtos no primário podem se propagar para o secundário e vice-versa. Os surtos, especialmente os induzidos, têm um certo grau de dependência do próprio sistema elétrico: aterramento, comprimento do secundário, tipos de carregamento, sistema de proteção, etc.

Motivações para Escolha do Óleo Vegetal Isolante FR3

A EDP, preocupada em reduzir indicadores de DEC e FEC, reduzir a quantidade de equipamentos desativados antes da completa depreciação contábil e em promover a extensão de vida útil de seus transformadores, juntamente com a Cargill, fabricante do óleo vegetal isolante FR3, iniciou em 2016 estudos para agregar conceitos de inovação, sustentabilidade e extensão de vida na operação de transformadores de distribuição de rede aérea com óleo vegetal isolante.

Diante da necessidade de extensão da vida útil de transformadores de distribuição monofásicos e trifásicos de redes aéreas, com potência nominal até 750 kVA, classe de tensão primária até 36,2 kV, assim como da necessidade de redução efetiva de custos de manutenção e do número de falhas nestes transformadores, a EDP buscou um novo tipo de óleo isolante para agregar elevados conceitos de segurança e sustentabilidade.

A EDP selecionou o óleo vegetal isolante FR3 da Cargill para o projeto piloto pois este conta com mais 23 anos de experiência no mercado. Hoje, estima-se que o número de transformadores com FR3 já ultrapasse 2 milhões de unidades instaladas [3]. Estima-se que o número global de transformadores reenchidos com FR3 (que tiveram o óleo mineral original substituído), é de aproximadamente 20.000 transformadores. A maior parte é composta por transformadores de distribuição com nível de tensão de até 36kV, mas também estima-se que mais de 150 transformadores de potência, inclusive de 300 MVA e 420 kV, já foram reenchidos com FR3.

Além de oferecer maior segurança devido a um ponto de combustão de 360 °C e maior biodegradabilidade ambiental, a tecnologia do óleo vegetal isolante FR3 pode fornecer maior flexibilidade no gerenciamento do carregamento de transformadores de distribuição e permitir uma extensão da vida útil do isolamento destes equipamentos.

O desempenho superior do óleo vegetal isolante, quando comparado ao óleo mineral, com seus benefícios resumidos na sequência, foram considerados pela EDP como motivadores na escolha do óleo vegetal isolante [3]:

- É produzido a partir de fontes renováveis e possui fácil biodegradabilidade. Melhora o desempenho ambiental, reduz o risco de impactos e promove o meio ambiente.
- Não é tóxico em diferentes condições de teste, como toxicidade aquática e oral aguda. Reduz o risco para a saúde humana e a vida animal.
- Seu alto ponto de combustão (líquido resistente ao fogo) promove maior segurança contra incêndios e, conseqüentemente, reduz os riscos às instalações e às pessoas.
- Sua formulação química promove a secagem do papel isolante, aumentando a vida útil do sistema de isolamento e conseqüentemente prolongando a vida útil dos transformadores.
- Sua capacidade térmica permite aumentar a temperatura de operação dos transformadores, com o benefício de permitir aumentar a capacidade de carga.
- Pode ser reciclado após a sua vida como líquido isolante.

Reforma Total

A reforma total é um serviço executado em transformadores retirados da rede por perder sua função principal, ou seja, a capacidade de transformação. É a atividade de manutenção necessária para corrigir um defeito grave (danos no enrolamento) no equipamento, consistindo na reparação e/ou substituição de componentes.

Neste tipo de serviço é necessária intervenção na parte ativa com a conseqüente substituição de todos os enrolamentos com a finalidade de aumentar a vida útil do transformador. A reforma de transformadores de distribuição faz parte dos processos da EDP por possuir um bom custo benefício e ainda ser considerada uma solução mais acessível do que a aquisição de um transformador novo.

Tipicamente os seguintes serviços são executados nos transformadores da EDP que passam por uma reforma total [4]:

- Substituição de todos os enrolamentos de AT e BT;
- Substituição de todas as buchas de AT para a classe 25kV (quando o transformador estiver com bucha classe 15kV);
- Padronização da quantidade de tap's;
- Substituição de todas as juntas de vedação;
- Substituição de todos os componentes avariados;
- Limpeza geral da parte ativa;
- Substituição de todos os materiais isolantes sólidos por materiais novos;
- Reparos gerais no tanque (inclusive caldeiraria quando necessário);
- Substituição ou reposição de terminais, conectores, buchas de AT/BT, quando avariados ou na ausência deles;
- Substituição dos terminais de BT para o padrão especificado;
- Estanhagem dos terminais e contatos elétricos de AT e BT;
- Zincagem das ferragens (porcas, arruelas, parafusos e grampos de fixação da tampa, suporte de para-raios);
- Instalação de suporte de para-raios;
- Instalação de comutador rotativo externo;
- Eliminação da tampa de inspeção;
- Pintura interna e externa do tanque;
- Pintura das marcações externas;
- Substituição da placa de identificação (quando necessário);
- Secagem da parte ativa;
- Ensaio de recebimento em laboratório;
- Substituição do óleo isolante;

A substituição do óleo isolante original, tipicamente, ainda o óleo mineral, faz parte da especificação técnica da EDP e do serviço contratado. Mas, para um futuro próximo, após análise e a consolidação dos resultados do projeto piloto alvo deste artigo técnico, a intenção da EDP é que a especificação traga claramente que a substituição do líquido isolante original deva ser feita por óleo vegetal isolante.

Projeto Piloto

Um grupo selecionado de 14 transformadores de distribuição que foi retirado da rede aérea da EDP por motivos de falhas diversas, com características conforme apresentado na Tabela II, foi enviado para uma empresa reformadora contratada para realização dos serviços de reforma total seguindo especificação técnica da EDP [4].

Transformador #	Potência (kVA)	Fases	Ano de Fabricação	Alta Tensão (V)	Baixa Tensão (V)	Volume de Óleo (l)	Peso (kg)
1	10	2	2009	7967/7621/7275	240/120	29	105
2	10	2	2008	7967/7621/7275	240/120	37	108
3	15	3	2008	13800/13200/12600	220/127	58	192
4	15	3	2010	13800/13200/12600	220/127	55	192
5	25	2	2013	7967/7621/7275	240/120	60	190
6	25	2	2019	7967/7621/7275	240/120	58	200
7	45	3	1999	13800/13200/12600	220/127	88	394
8	45	3	1998	13800/13200/12600	220/127	68	394
9	50	2	2004	7967/7621/7275	240/120	67	297
10	50	2	2016	7967/7621/7275	240/120	90	230
11	75	3	2006	13800/13200/12600	220/127	178	473
12	75	3	1999	13800/13200/12600	220/127	102	405
13	112.5	3	2012	13800/13200/12600	220/127	152	562
14	112.5	3	2014	13800/13200/12600	220/127	149	520

Tabela II - Características dos transformares reformados e que receberam o óleo vegetal isolante FR3.

O grupo selecionado possuía transformadores de diversos fabricantes e possuía média de fabricação igual à 2008. Análise do diagnóstico das causas de defeitos deste grupo de transformadores não faz parte do escopo deste artigo técnico, mas chama a atenção a baixa vida útil dos transformadores no momento em foram enviados para a reforma, com média de 11 anos de operação em 2019.

O grupo de 14 transformadores de distribuição foram reformados seguindo os requisitos da especificação técnica da EDP e tiveram seu líquido isolante original substituído pelo óleo vegetal isolante FR3. O FR3 atende integralmente a especificação técnica de óleo vegetal isolante da EDP e possui os relatórios e certificados de testes que evidenciam cumprimento aos seguintes requisitos:

1. Ensaio de toxicidade do óleo isolante conforme item 4.4 da NBR 15422;
2. Ensaios de rotina e de tipo conforme Tabelas 1 e 2 da NBR 15422;
3. Ensaio de estabilidade a oxidação conforme método C da IEC 61125:1992.
4. Ensaio de biodegradabilidade conforme método OECD 301B.
5. Resultados de estudos de envelhecimento acelerado através de tubos selados e método de teste Lockie (conforme C57.100), e ter publicado seus fatores de carregamento A e B da equação de Arrhenius para envelhecimento de papel isolante.
6. Certificado de aprovação como fluido resistente ao fogo pela FM Global e UL®.

Após a reforma, os 14 transformadores foram ensaiados complementemente montados conforme normas ABNT NBR 5356-1 e ABNT NBR 5440. Eles foram 100% aprovados nos seguintes ensaios de rotina performados pela empresa reformadora contratada:

- Resistência elétrica dos enrolamentos;
- Relação de tensões;
- Resistência do isolamento;
- Polaridade;

- Deslocamento angular e sequência de fases;
- Perdas (em vazio e em carga);
- Corrente de excitação;
- Impedância de curto-circuito;
- Tensão suportável nominal à frequência industrial;
- Tensão induzida;
- Verificação do funcionamento dos acessórios.

Importante ressaltar ainda que, para que haja uma indicação visual clara que diferencie o equipamento com óleo vegetal isolante, a EDP solicita que os transformadores que passem por reforma completa e que passem a conter o óleo vegetal isolante, tenham a cor externa verde notação Munsell 5 G 8/4. As Figuras 2 e 3 apresentam alguns dos transformadores reformados após os testes e em preparação para expedição.



Figura 2 - Transformadores de 10 e 50 kVA monofásico reformados



Figura 3 - Transformadores de 45 e 112,5 kVA trifásico reformados

3. Conclusão

É possível demonstrar comercialmente a viabilidade da reforma dos transformadores de distribuição resultando em uma redução dos custos da EDP.

Os 14 transformadores reformados e preenchidos com óleo vegetal isolante já entraram em operação e poderão ter sua performance monitorada para futura comprovação dos benefícios buscados pela EDP como extensão de vida útil, aumento da segurança e melhora de critérios de sustentabilidade.

A substituição do óleo isolante original, tipicamente ainda o óleo mineral, faz parte da revisão atual da especificação técnica da EDP e do serviço de contrato com reformadoras. Mas, para um futuro próximo, após análise e a consolidação dos resultados do projeto piloto, alvo deste artigo técnico, a intenção da EDP é que a manutenção em transformadores de distribuição para redes aéreas traga claramente que a substituição do líquido isolante original deva ser feita por óleo vegetal isolante, conforme Especificação Técnica já elaborada pela EDP [5].

4. Referências bibliográficas

- [1] Ferreira, D. A. P., Análise de Falhas em Transformadores de Distribuição por Metodologia Forense. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.
- [2] Filippo, G., Ávila, J.I.P., Queiroz, L.G.T. Análise de Falhas de Transformadores em Redes Aéreas de Distribuição. V CITENEL - Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. Belém, Brasil. Junho 2009.
- [3] Da Silva, R. et al; Ten Years of Experience with Natural Ester Dielectric Fluid in 245 kV: Shunt Reactor of Vilhena Substation - Eletronorte. 2019 CIGRE Canada Conference, Montreal, September 2019.

[4] ES.DT.PDN.00226 – Especificação Técnica da EDP para ES.DT.PDN.00226 - Serviços de Manutenção em Trafo de Dist - OMI.

[5] ES.DT.PDN.00191 – Serviço de Manutenção em Transformador de Distribuição – Óleo Vegetal Isolante