

MISTURAS DE ÓLEO VEGETAL COM MINERAL EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA 69KV

José Mak, Flávio Faria, Roberto Luiz Crespo Maciel CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação - Campinas - SP. Ithamar Sene Junior, Eduardo Vicente Guerrero AES SUL -Distribuidora Gaúcha de Energia S/A

Resumo – Este artigo apresenta resultados do estudo da substituição experimental de óleos convencionais por misturas de potenciais fluídos ecológicos em Transformadores de AT da classe de tensão 69KV. Foram estudadas misturas de óleos vegetais biodegradáveis, com óleo mineral isolante utilizado em transformadores, em diversas proporções, avaliando-se o desempenho das mesmas através de ensaios em laboratório e acompanhamento de campo. A higroscopicidade do óleo vegetal foi considerada para dirimir problemas nos vazamentos e derramamento da mistura desses fluídos no solo. Por ser higroscópico e possuir características biodegradáveis o óleo vegetal é bastante sensível à presença do ar atmosférico, sendo mais apropriado para utilização em equipamentos selados.

Palavras-chave - Transformadores, Fluídos, Óleos, Vegetal, Mineral.

I. INTRODUÇÃO

Há mais de 100 anos, o sistema isolante de equipamentos elétricos é constituído basicamente de madeira, papel, fenólicos e óleo isolante. Embora seja possível empregar novos materiais em equipamentos novos, no caso dos existentes, só se faz atualmente a regeneração do óleo antigo ou sua substituição por novo. Em ambos os casos existem perdas e problemas de descarte de óleo mineral no meio ambiente. As características indesejáveis dos óleos atuais, como por exemplo, a baixa biodegradabilidade, não tem sido objeto de estudos para a solução dos problemas de contaminação ambiental, um dos maiores problemas das concessionárias de energia elétrica ou ainda do desempenho em serviço.

No início desse projeto não se sabia o benefício da simples inserção de novos fluidos nos Transformadores de AT em uso. Por esse motivo a AES SUL elaborou juntamente com o CGTI este projeto visando a inserção destes fluidos nos Transformadores de AT instalados no seu sistema.

Ainda no caso de Transformadores de AT existentes, não tinham sido estudados fluidos isolantes alternativos que pudessem ser utilizados em substituição aos óleos isolantes convencionais.

O emprego de óleo isolante vegetal teve por finalidade reduzir as características indesejáveis dos óleos atuais, e trazer características desejáveis, tais como biodegradabilidade, maior resistência à oxidação, maior vida útil para o Transformador de AT, estabilidade térmica e menor custo de manutenção.

O emprego de fluidos biodegradáveis tem por finalidade solucionar os problemas no trato com o meio ambiente de forma efetiva e econômica e o problema incipiente da escassez da matéria prima para óleo mineral isolante no mundo.

II. METODOLOGIA DA PESQUISA

A partir do estado da arte em que se encontrava a disponibilidade de fluidos isolantes com potencial para substituição com vantagens dos óleos isolantes convencionais, iniciou-se um estudo sobre os resultados laboratoriais então disponíveis, para analisar, avaliar e comparar o desempenho de óleos compostos de misturas simples de apenas dois ou três tipos de moléculas de hidrocarbonetos, e também óleos isolantes derivados de óleos vegetais.

Com base nos resultados obtidos da avaliação dos dados laboratoriais disponíveis, foi estabelecido um plano de utilização de mistura de óleos em equipamentos em operação no campo. Foi estudado um conjunto de condições favoráveis e desfavoráveis, com maior possibilidade de ocorrência na prática.

Foram definidos dois Transformadores de AT pilotos para emprego de duas das misturas, sendo um com a mistura 25/75% e outro com a mistura 75/25% de óleos vegetal/mineral, que melhor se apresentaram nos estudos dos dados laboratoriais. Estes Transformadores de AT foram acompanhados com ensaios do fluído isolante a cada três meses, durante 12.000 horas na primeira fase e 25.000 horas na segunda fase do acompanhamento em campo.

Os resultados obtidos foram tabulados e avaliados e apresentados em relatórios, a partir dos quais foi efetuada a avaliação geral dos resultados do projeto.

A escolha dos Transformadores de AT para toda a fase experimental da pesquisa foi analisada pela equipe do projeto da AES SUL, com

critérios logísticos e técnicos de modo que esses transformadores não estivessem comprometidos com possíveis falhas incipientes.

No final de cada ano do projeto foi feito um Workshop na sede da AES SUL nos quais foram apresentados os resultados, ensaios, relato das experiências de campo e as conclusões do período, para o corpo técnico da empresa. Durante todo o desenvolvimento do projeto e principalmente na experiência de campo foi implementado o Treinamento da mão-de-obra diretamente envolvida; possibilitando assim à AES SUL reter a capacitação e promover a divulgação dos resultados da pesquisa em seminários Internos e externos.

III. Resultados Alcançados

O estudo foi desenvolvido por etapas no período de três anos obtendo-se os seguintes resultados:

A) Avaliação “dos principais resultados e tendências”

Comparativo dos resultados dos ensaios físicos químicos das Misturas do **TR2** (25% óleo vegetal + 75% óleo mineral), **TR3** (75% óleo vegetal + 25% óleo mineral) e **TR1** (100% óleo mineral padrão).

Comentários:

Após a mistura observa-se pela tabela, que os resultados dos ensaios físicos químicos para o transformador protótipo **TR2** (Mistura 25% Óleo Vegetal + 75% Óleo Mineral) **tendem** a apresentar valores mais próximos aos do **óleo mineral padrão** utilizado no transformador **TR1**;

No caso do transformador protótipo **TR3**, após a mistura (75% Óleo Vegetal + 25% Óleo Mineral), os resultados dos ensaios físicos químicos observados na tabela **tendem** a apresentar valores mais distantes aos do **óleo mineral padrão** utilizado no transformador **TR1**.

Pode ser observado no ensaio de teor de água (4), que como foi inserido óleo vegetal na mistura (75% de óleo vegetal + 25% de óleo mineral) e por ser o óleo vegetal mais higroscópico que o óleo mineral e o papel, a tendência do teor de água seria aumentar, pois o óleo vegetal absorve água do papel isolante (ao contrário do mineral que insere água no papel). Os resultados apresentados pelas misturas 25V75M no TR2 e 75V25M no TR3 mostram as tendências das grandezas físico-químicas do emprego de misturas de óleo em transformadores abertos à atmosfera (transformadores selados a sílica gel); não impedindo que ocorra para alguns dos ensaios físico-químicos a melhora de

resultados do óleo mineral usado. Os ensaios de Fator de perdas a 25°C e 100°C, foram os mais influenciados devido aos transformadores não estarem selados e à influência do ar atmosférico.

Ensaio:		TR1	TR2	TR3	Valores de Norma	
		100% Mineral	25% Vegetal	75% Vegetal	Óleo Veget.	Óleo Miner.
1-Densidade	g/ml	0,868	0,883	0,901	0,96	0,861 a 0,9
2-Tensão Interfacial a 25 °C	mN/m	32,8	28,7	27,9	27	22 Min
3-Índice de Neutralização	mgKO H/g	0,01	0,01	0,02	0,06 Max	0,15 Máx
4- Teor de Água corrig 20 °C	ppm	11,6	14,3	23	200 mg /kg	25 ppm Max
5-Rigidez Dielétrica:	KV	65	73	65	30 Min NBR 42 Min IEC	40 Min IEC
6- FP a 25°C:	%	0,047	0,008	0,024	0,20 NBR	0,5 Máx
7- FP a 100°C:	%	2	0,62	1,25	4,0 NBR	20 Máx
8-Ponto de Fulgor	°C	154	168	202	275	140 Min
9- Viscosidade a 40 °C:	CsT	11,7	13,1	27	50	11 Máx
10-Ponto de Fluidez	°C	-44	-33	-24	-10	-39 Máx
11- Contagem de Partículas	Micro ns	2850	943	1280	-	-

Tabela-1: Resultados antes da Selagem

B) Avaliação “dos resultados após a Selagem dos transformadores”



Foto1: TR2 com o SMT(Dispositivo de Selagem).

O equipamento estático de secagem e selagem permanente SMT - Sistema de monitoramento de transformadores retira a umidade contida no enrolamento de modo lento, porém contínuo e permanente e ao mesmo tempo evita que o óleo isolante do transformador entre em contato com o ar atmosférico, eliminando a penetração de impurezas, oxigênio e umidade.

Esse equipamento isola o óleo do transformador por meio de um colchão de Nitrogênio seco.

A pressão de operação se mantém ligeiramente em torno de 1 (uma) atmosfera com variações

máximas de 15 mbar, mantendo o projeto original do transformador.

Ensaio:	Unid.	Valores de Norma	
		Óleo Vegetal	Óleo Mineral
1-Densidade:	g/ml	0,96	0,861 a 0,9
2- Tensão Interfacial a 25 ° C:	mN/m	27 Mín	22 Mín
3- Índice De Neutralização	mgKOH/g	0,06 Máx	0,15 Máx
4- Teor de Água Corrig 20 ° C:	mg/kg=ppm	200ppm Máx	25 ppm Max
5- Rigidez Dielétrica:	KV	30 Min NBR 42 Min IEC	40 Mín IEC
6- FP a 25°C:	%	0,20 Máx	0,5 Máx
7- FP a 100°C:	%	4,0 Máx	20 Máx
8- Ponto De Fulgor:	°C	275 Mín	140 Mín
9- Viscosidade a 40 ° C:	CsT	50 Máx	11 Máx
10- Ponto De Fluidez:	°C	-10 Máx	-39 Máx
11- Contagem De Partículas	Microns	-	-

Tabela 2-Valores de norma para óleos vegetal/mineral

Ensaio:	Und	TR2 (as) 25% Vegetal	TR2 (V0) 25% Vegetal	TR2 (V1) 25% Vegetal	TR2 (V2) 25% Vegetal
1- Densidade:	g/ml	0,8815	0,8817	0,8821	0,8820
2- Tensão Interfacial a 25°C:	mN/m	25,9	25,9	26,4	25,7
3- Índice de Neutralização	mgKOH/g	0,01	0,02	0,02	0,02
4- Teor De Água Corrig a 20°C :	mg/kg=ppm	25,2	27,0	21,2	29,6
5- Rigidez Dielétrica:	KV	66	58	83	82
6- FP A 25°C	%	0,204	0,370	0,360	0,460
7- FP A 100°C:	%	4,91	8,10	8,87	9,59
8- Ponto de Fulgor:	°C	172	168	170	166
9- Viscosidade A 40 ° C:	CsT	12,3	13,2	13,4	13,3
10- Ponto De Fluidez:	°C	-39	-36	-36	-34
11- Contagem De Partículas	Microns	1598	2706	2105	3500

Tabela 3-Resultados Mistura 25V+75M

Ensaio:	Und.	TR3(as) 75% Vegetal	TR3 (V0) 75% Vegetal	TR3 (V1) 75% Vegetal	TR3 (V2) 75% Vegetal
1-Densidade:	g/ml	0,8971	0,9047	0,9081	0,9077
2- Tensão Interfacial A 25 ° C:	mN/m	26,6	27,1	27,9	27,2
3- Índice De Neutralização:	mgKOH/g	0,03	0,04	0,04	0,04
4- Teor De Água Corrig 20 ° C:	mg/kg=ppm	38,5	75,2	64,1	67,7
5- Rigidez Dielétrica:	KV	58	60	84	61
6- Fp A 25°C:	%	0,810	0,900	0,980	1,130
7- Fp A 100°C:	%	11,80	19,20	20,89	21,28
8- Ponto De Fulgor:	°C	199	196	196	192
9- Viscosidade A 40 ° C:	CsT	23,2	25,9	26,2	26,3
10- Ponto De Fluidez:	°C	-28	-27	-24	-23
11- Contagem De Partículas	Microns	3054	4072	3587	4988

Tabela 4-Resultados Mistura 75V+25M

Comentários:

Observa-se que os resultados apresentados pelas misturas (25V75M) e (75V25M) inseridas respectivamente nos transformadores protótipos TR2 e TR3 apresentaram para os ensaios de Perdas a 25 e 100°C resultados com tendência ao esperado após a selagem, ou seja, a manutenção de valores dentro ou bem próximos dos parâmetros de norma dos óleos vegetal e mineral.

A selagem desses dois transformadores foi prioritária com a instalação dos sistemas de monitoramento de transformadores SMTs, de modo a controlar o crescimento desses valores de perdas em função do contato dessas misturas com o ar atmosférico.

IV. CONCLUSÕES

O ineditismo deste projeto foi a obtenção de um novo fluido isolante para Transformadores, de AT que pode melhorar o desempenho desses transformadores, estender suas vidas úteis e reduzir substancialmente os custos de manutenção; e também a definição das proporções da mistura óleo vegetal com óleo mineral.

O projeto testou, operou e ensaiou o novo fluido podendo se concluir, pelos resultados obtidos até a presente data, que é viável a operação de Transformadores de classe 69 kV utilizando mistura de óleo vegetal em óleo mineral em uso.

Pelos resultados obtidos em laboratório para as amostras das misturas dos equipamentos ensaiados, confirmou-se que o óleo vegetal é bastante sensível ao contato com o ar atmosférico e não é próprio para utilização contínua em sistemas abertos.

O emprego dos novos fluidos, mistura de óleo vegetal isolante em óleo mineral em uso, permitirá a avaliação e a proposição de uso de misturas, em qualquer proporção, de forma a tornar sua utilização no sistema mais efetiva e econômica.

Quanto à transferência de tecnologia, no final de cada ano do projeto foi feito um Workshop sobre os resultados, ensaios, relato das experiências de campo e as conclusões do período para o corpo técnico da empresa. Durante todo o desenvolvimento do projeto e principalmente na experiência de campo foi implementado o treinamento da mão-de-obra diretamente envolvida; possibilitando assim à AES SUL reter a capacitação e promover a divulgação dos resultados da pesquisa em seminários internos e externos.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BASSETTO F., A. et al. Diagnostic assessment of the condition of insulating systems in power transformers. In: SUBSTATION EQUIPMENT DIAGNOSTICS CONFERENCE, 8, Nova Orleans, 1999. Anais. Palo Alto, EPRI, 1999, 9 p.
- [2] MCSHANE, C. P., RAPP, K.J. CORKRAN, J.L. Aging of Kraft Paper in Natural Ester Dielectric Fluid, Proceedings of 14th. International Conference on Dielectric Liquids, pp173-177, Graz, Austria.
- [3] BASSETTO F., A. et al. Effects of preservation systems on the condition of the insulating systems in power transformers. In: TECHCON 99, Nova Orleans, 1999. Anais. Sacramento, TJ/H2b, 1999, 11 p.
- [4] MCSHANE, C. P., MARTINS, M.N. Desenvolvimento e Aplicação de Fluido Dielétrico de Base Vegetal para Transformadores de Distribuição e Potência., IV Conferencia Doble no Brasil, Belo Horizonte, Brasil, ago/2003.
- [5] SUNDIN, D.W. The Relationship Between Laboratory Tests and Transformer Flammability In: THE INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS MONTECH CONFERENCE. Anais. Montreal, Quebec, 1998, 10 p.
- [6] MCSHANE, C. P., RAPP, K.J., CORKRAN, J. L., GAUGER, G. A., LUKSICH, J. Aging of Paper Insulation in natural Ester Dielectric Fluid. Transmission & Distribution Conference & Exposition, IEEE/PES, Atlanta - GA, Nov, 2001.
- [7] BASSETTO F., A. et al. Economic Assessment of Loading Power Transformers. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF DOBLE CLIENTS, 64, Boston, 1997. Anais. Boston, Doble Engineering Company, 1997. 6 p.
- [8] MCSHANE, C. P., LUKSICH, J., RAPP, K.J., Experience in Retrofilling Older Transformers With Natural Ester Based Dielectric Coolant, Doble, April/2002.
- [9] BASSETTO F., A. & MAK, J. Maintenance practices to improve loading and to extend the life of power transformers. In: TECHCON 96, Nova Orleans, 1996. Anais. Sacramento, TJ/H2b, 1996, 9 p.
- [10] BASSETTO F., A. & MAK, J. Medidas que podem dobrar a vida útil de transformadores de potência. Eletricidade Moderna, v. 258, p. 28, julho, 1995.
- [11] SUNDIN, D.W. Biologic Decomposition of Liquid Dielectrics"; Elektrik Magazine (publicação da União Russa de Engenheiros de Sistemas de Potência), Moscou, fevereiro, 1992.
- [12] BASSETTO F., A. et al. How the products from insulating oil degradation can affect the life of transformers". In: CIGRE SESSION, Paris, 1992. Anais, Paris, CIGRE, 1992, paper no 12-104.
- [13] SUNDIN, D.W. The Relationship Between Dielectric Fluid Viscosity and Transformer Cooling Performance. IEEE Transactions of the International Conference on Electrical Insulating and Dielectric Phenomenon. Tóquio, junho, 1991.
- [14] BASSETTO F., A. Estudo químico de óleos isolantes elétricos por cromatografia, extração com fluido supercrítico e degradação radiolítica. São Carlos, 1998, 231 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.