

Aplicação de Misturas de Fluidos, Biodegradáveis com Óleo Mineral Isolante em Disjuntores e Transformadores.

José Mak, Flávio Faria, Laurence L. Marques, Viviane M. Vieira, Igor Mateus Araújo, Lindolfo Jr. Oliveira Sales, José Francisco Santos Neto.

Resumo – Este artigo apresenta estudo e avaliação da utilização de misturas de óleo vegetal isolante biodegradável com óleo mineral isolante em diferentes proporções, em Disjuntores e Transformadores de Distribuição 15KV, como alternativa para a substituição paulatina dos óleos minerais isolantes convencionais hoje utilizados. Foram estudadas em condições controladas de laboratório e solicitações reais de aplicação em campo, misturas de óleo vegetal e mineral em diferentes proporções, visando avaliar seu desempenho, para substituir a médio e longo prazo, os óleos minerais isolantes em utilização em disjuntores e transformadores, Classe 15 KV, com ganhos ambientais e de aumento de vida útil para esses equipamentos. Foram estudadas as principais características dos novos fluidos (misturas) e sua influência sobre os disjuntores e transformadores 15KV, visando manutenção do desempenho dos mesmos. A higroscopicidade e biodegradabilidade do óleo vegetal isolante são atrativas em termos ambientais e de prevenção de umidade no isolamento sólido interno de equipamentos elétricos.

Palavras-chave – *Fluidos isolantes, Disjuntor, Misturas, Óleo Vegetal, Óleo Mineral, Transformador.*

I. INTRODUÇÃO

Este é o artigo técnico referente ao Projeto de P&D-0040-0008/2010, intitulado "Aplicação de Misturas de Fluidos Biodegradáveis com óleo Mineral Isolante em Disjuntores e Transformadores de Distribuição".

O projeto foi desenvolvido entre a Cosern – Grupo Neoennergia, CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e B&G Pesquisa e Desenvolvimento LTDA, dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Cosern, regido pela ANEEL, com duração de 24 meses.

A idéia para o desenvolvimento do projeto surgiu da problemática do uso do óleo mineral isolante utilizado em equipamentos elétricos visando viabilizar a sua substituição em escala por outro fluido isolante que não seja agressivo ao

meio ambiente, seja originário de fonte renovável e biodegradável.

Atualmente quase a totalidade dos equipamentos elétricos em utilização usa como meio isolante e de refrigeração o óleo mineral isolante, subproduto da destilação fracionada do petróleo. O óleo mineral é extremamente agressivo ao meio ambiente, contaminando solo e lençóis freáticos de forma irreversível quando vertido no mesmo.

O petróleo é originário de fonte não renovável e mesmo com as recentes descobertas, sua escassez é questão de tempo, estimando-se que seu custo aumentará vertiginosamente nos próximos 20 anos.

A introdução no mercado de óleos vegetais isolantes para utilização em equipamentos elétricos abriu novas perspectivas de melhorias tecnológicas e ambientais na utilização de fluidos isolantes, visto que apresentam elevado ponto de fulgor (são resistentes à inflamabilidade), procedem de fontes renováveis, são biodegradáveis e não agressivos ao meio ambiente e ao homem; o que os caracteriza como fluidos de segurança.

Dessa forma, equipamentos elétricos utilizando óleos vegetais como meio isolante e de refrigeração passam a ser mais adequados ao meio ambiente, ao homem e a qualquer situação de instalação onde sejam requeridos.

Nos últimos anos as Concessionárias de energia elétrica passaram a avaliar para equipamentos novos, a viabilidade técnica e econômica da possibilidade do uso de óleo vegetal isolante como solução mais adequada ecologicamente.

Ainda que a totalidade dos novos equipamentos a serem inseridos no sistema elétrico seja adquirida com óleo vegetal, isto não evitaria a grande demanda de uso de óleo mineral para atender as necessidades de reposição dos equipamentos antigos isolados com esse produto.

Também não se afigura viável financeiramente a substituição do óleo mineral em uso, por óleo vegetal novo como forma de adoção dessa alternativa em grande escala.

As dificuldades para essa mudança em curto prazo se mostram inviáveis, tanto devido às quantidades de óleo mineral isolante em utilização (milhões de litros), quanto do descarte das quantidades substituídas, esbarrando também no custo do óleo vegetal isolante, ainda em início de produção e sem concorrência de mercado.

A mudança pretendida de óleo mineral por óleo vegetal pode se tornar viável se executada paulatinamente, com escalonamento de volumes de substituição, com a iniciativa de passar a adquirir somente óleo vegetal isolante nos equipa-

Esse trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL, sob número P&D 0040-0008/2010.

Igor Mateus de Araújo, Lindolfo Jr. Oliveira Sales e José Fco. Santos Neto, trabalham na COSERN (e-mail: igor.araujo@cosern.com.br; lindolfo.oliveira@cosern.com.br, jose.neto@cosern.com.br)

José Mak, Flavio Faria e Laurence Marques, trabalham para a B&G Pesquisa e Desenvolvimento Ltda. (e-mail: josemak@buenomak.com.br; ffaria@buenomak.com.br; laurence@buenomak.com.br)

Viviane Mak Vieira trabalha no CGTI Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação.(email: viviane@buenomak.com.br).

mentos novos e para reposição de óleo nos equipamentos existentes.

O uso de óleo vegetal para repor o nível de óleo isolante em equipamentos existentes que fazem uso de óleo mineral, representa uma rota tecnológica inovadora como alternativa significativa para a substituição da demanda de óleo mineral, e impulsionar o uso de óleo vegetal ecologicamente correto.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Inicialmente foi efetuado estudo e revisão dos resultados laboratoriais disponibilizados em P&D anterior, para várias misturas de óleo vegetal isolante novo com óleo mineral isolante usado, baseados nos valores das normas.

Para este projeto, e com base nos resultados obtidos na avaliação dos dados laboratoriais, foi estabelecido um Plano de Aplicação de misturas de óleo vegetal novo em mineral usado em equipamentos em operação no campo; verificação de quais impactos poderiam ocorrer quanto à necessidade de manutenção dos transformadores de distribuição e disjuntores e do próprio fluido em relação ao óleo isolante convencional, e acompanhamento da evolução das características quando da troca ou complementação do óleo existente.

Foram selecionados transformadores de distribuição e disjuntores para emprego das misturas e também definidos os equipamentos Padrão de Referência, que receberam apenas óleo mineral isolante e cujos resultados de ensaios foram utilizados para comparação. Estes equipamentos foram acompanhados pelo período de dois anos.

Em seguida, foi ensaiado o óleo mineral em uso nos equipamentos da COSERN para verificação do atendimento aos padrões de norma, visando garantir que a utilização do mesmo na pesquisa, não iria distorcer os resultados dos ensaios.

Os equipamentos selecionados foram submetidos a manutenção geral visando garantir que não houvesse defeitos incipientes que pudessem interferir nos resultados da pesquisa, após o que, foram inseridas as misturas escolhidas.

A partir daí, foram feitas avaliações periódicas nas quais eram coletadas amostras de óleo para ensaios em laboratório e efetuadas inspeções visuais e ensaios nos equipamentos.

Os resultados dos laudos dos ensaios e das inspeções periódicas, efetuadas pelo pessoal da concessionária, foram analisados pela equipe do projeto, para concluir a avaliação de desempenho do uso de misturas de óleo vegetal novo em óleo mineral usado, comparativamente com o equipamento estabelecido como padrão de referência, que usava apenas óleo mineral.

III. ETAPAS.

A pesquisa foi desenvolvida em etapas realizadas no período de dois anos, conforme segue:

No primeiro Ano do Projeto. (6 etapas)

Etapas 1 - Atualização de dados e do desempenho dos fluidos isolantes alternativos em P&D anterior.

Os resultados trazidos pelo P&D anterior foram re-analisados nessa fase e considerados promissores a ponto de

incentivarem prospectar e avaliar o desempenho de misturas semelhantes em situações de equipamentos de maior risco e de alta sensibilidade a falhas elétricas - transformadores de Distribuição e disjuntores ou religadores de redes de 15 KV. Esses equipamentos (14 transformadores, 8 disjuntores e religadores) foram então usados para prosseguir com a avaliação do desempenho das misturas de óleo isolante.

Etapas 2 - Plano de estudo e definição dos equipamentos pilotos.

Nesta etapa foi elaborado o Plano de Estudo para a pesquisa e escolhidos os equipamentos pilotos.

Etapas 3 - Estudo de ensaios laboratoriais que serão aplicados em cada tipo de equipamento.

Foram estudados e definidos os tipos de ensaios laboratoriais para avaliação de desempenho das misturas em religadores/disjuntores e em transformadores de distribuição..

Para Disjuntores e Religadores foram definidos os seguintes ensaios laboratoriais:

Ensaio Físico-Químicos:

Densidade
Tensão Interfacial:
Índice de Neutralização:
Teor de Água:
Rigidez Dielétrica:
Fator de Potência = Fator de perdas
Ponto de Fulgor

Viscosidade

Ponto de Fluidez

Contagem de Partículas

Avaliação da umidade da borra coletada nos contatos

Ensaio de Avaliação do potencial abrasivo

Para Transformadores de Distribuição foram definidos os seguintes ensaios laboratoriais:

Ensaio Físico-Químicos:

Densidade
Tensão Interfacial
Índice de Neutralização
Teor de Água
Rigidez Dielétrica
Fator de Potência = Fator de perdas
Ponto de Fulgor

Viscosidade

Ponto de Fluidez

Contagem de Partículas

Ensaio Cromatográficos:

Hidrogênio – H₂
Oxigênio - O₂
Nitrogênio – N₂
Metano – CH₄
Monóxido de Carbono – CO
Dióxido de Carbono – CO₂
Etileno – C₂H₄
Etano – C₂H₆
Acetileno – C₂H₂

Etapa 4 - Avaliação laboratorial de características do óleo em uso em cada tipo de equipamento em estudo.

Nessa etapa foram coletadas amostras e realizados ensaios laboratoriais no óleo mineral regenerado que estava em uso nos equipamentos pilotos da Cosern.

Na Figura 1 abaixo são apresentados os resultados dos ensaios físicos químicos obtidos em laboratório para o óleo mineral regenerado padrão Cosern utilizado nesses equipamentos, bem como sua avaliação.

ENSAIOS	Resultados		Valores de Norma óleo Mineral
1-DENSIDADE:	g/ml	0,868	0,861 a 0,9
2- TENSÃO INTERFACIAL a 25 ° C:	mN/m	32,8	22 <u>Mín</u>
3- INDICE DE NEUTRALIZAÇÃO:	mgKOH/g	0,01	0,15 <u>Máx</u>
4- TEOR DE ÁGUA <u>corr</u> ig 20 ° C:	Mg/kg= =ppm	11,6	25 ppm Max
5- RIGIDEZ DIELÉTRICA:	KV	65	35 <u>Mín</u> IEC
6- FP a 25°C:	%	0,047	0,5 <u>Máx</u>
7- FP a 100°C:	%	2,00	20 <u>Máx</u>
8- PONTO DE FULGOR:	°C	154	140 <u>Mín</u>
9- VISCOSIDADE A 40 ° C:	CsT	11,7	11 <u>Máx</u>
10- CONTAGEM DE PARTÍCULAS	Microns	2850	NÃO É NORMALIZADO

Figura 1 - Resultados óleo mineral regenerado em utilização.

Os resultados obtidos para o óleo mineral regenerado padrão Cosern, mostraram que o mesmo estava dentro dos limites Max e Mín estabelecidos na Norma e Especificação do produto, que se referem aos valores para óleo mineral naftênico novo Tipo A.

Etapa 5 - Inserção de misturas nos equipamentos.

Foram realizadas inspeções e manutenções nos equipamentos pilotos de projeto anterior, que continuavam em acompanhamento nas Subestações de Ceará Mirim, Macaíba e Natal 1. Também foram realizadas as manutenções preventivas para inserção das misturas nas proporções (75% OVI25% OMI) e (25% OVI75% OMI) nos Religadores, Disjuntores e 4 Transformadores Auxiliares da Subestação de Maísa e Neópolis e ensaios de recepção nos 10 (dez) transformadores de distribuição de 45KVA adquiridos da Itaipu transformadores com recursos do projeto, onde 9 receberam proporções de misturas variando de 10% a 90% Vegetal e 1 recebeu 100% de óleo Mineral padrão da pesquisa com a finalidade de serem instalados na rede distribuição da COSERN para levantamento das curvas dos ensaios Físico-Químicos e Cromatográficos para Misturas. As inspeções e manutenções prévias, efetuadas antes da inserção das misturas nos equipamentos, visaram garantir que os mesmos não fossem portadores de defeitos incipientes, que pudessem comprometer os resultados das avaliações.

Etapa 6 - Avaliação de condições e acompanhamento dos parâmetros de campo. (Valores iniciais Vo)

Foram avaliados, pela equipe executora, os resultados dos ensaios laboratoriais Físico-Químicos e Cromatográficos das amostras coletadas das misturas e do óleo mineral padrão para o estudo/acompanhamento dos equipamentos selecionados como protótipos, quando da inserção das misturas na etapa anterior (Vo).

Na Figura 2, mostra a abertura do religador para inserção da mistura isolante e ensaios de acompanhamento.



Figura 2 – Abertura de Religador

A Figura 3, apresenta um dos transformadores que já se encontravam em operação com óleo mineral e que recebeu a mistura 75% OVI, para a pesquisa.



Figura 3 – Transformador posição 01 T 2 – SE Maísa

Etapa 7 – Revisão dos resultados. (V1)

Avaliados os resultados finais da primeira fase de experimentos realizada 8 meses após o Vo, para verificação de eventual necessidade de alteração de procedimentos ou rotinas em utilização. Não houve necessidade de alterações.

Etapa 8 – Realização de ensaios e avaliação dos resultados de campo. (Avaliação dos ensaios V2).

Efetuada ensaios, manutenções e inspeções nos equipamentos e avaliados os resultados 6 meses após a avaliação anterior.

Etapa 9 – Realização de ensaios e avaliação dos resultados de campo. (Avaliação dos ensaios V3).

Efetuada avaliação em campo, coleta de amostras de óleo, inspeção visual, manutenções preventivas, para caracterização das avaliações de desempenho do equipamento e da mistura isolante. Avaliação dos resultados 4 meses após V2.

A Figura 4 mostra um dos transformadores novos que recebeu em fábrica mistura de óleo vegetal e mineral na proporção 80% OVI.



Figura 4 – Transformador novo como mistura de óleos.

Etapa 10 – Avaliação geral dos resultados.

Efetuada avaliação geral dos resultados.

Etapa 11 – Treinamento e capacitação.

A atividade de treinamento do pessoal técnico da Cosern, considerada essencial para a capacitação no trato com mistura de óleo, foi efetuada durante o transcorrer do projeto, com as aplicações práticas de campo e atividades de manuseio, transporte, estocagem e manipulação do óleo vegetal isolante e das misturas utilizadas. As aplicações práticas de campo envolveram ensaios, avaliação e interpretação de resultados, elaboração e manuseio das misturas, procedimentos para verificação de condições resultantes da utilização das misturas nos componentes internos dos equipamentos e avaliação de desempenho das misturas utilizadas.

IV. PRODUTO PRINCIPAL DO PROJETO.

Considerado o principal produto obtido no projeto como sendo a avaliação do uso de misturas de óleo vegetal isolante novo em óleo mineral em uso, em equipamentos elétricos de classe de tensão 15 kV.

Essa avaliação, segundo a metodologia do projeto, verificou que os óleos isolantes, vegetal e mineral, são perfeitamente miscíveis e concluiu que a mistura, em qualquer das proporções ensaiadas que variaram de 10 a 90% de óleo vegetal, atende aos requisitos de um fluido isolante e refri-

gerante, com desempenho igual ou superior ao do óleo mineral tomado como padrão de referência.

V. RESULTADOS ALCANÇADOS.

Misturas Isolantes:

Foram obtidas com o desenvolvimento da pesquisa, formulações de mistura de óleo vegetal novo em óleo mineral em uso nas proporções de 10 a 90%, sem acréscimo de nenhum aditivo auxiliar. Tais formulações atuaram em equipamentos existentes classe 15 kV, os quais passaram por ensaios de acompanhamento de desempenho enquanto as misturas isolantes foram periodicamente submetidas a ensaios laboratoriais. Os resultados do desempenho das misturas e o comportamento dos equipamentos envolvidos permitiram concluir que, comparativamente aos equipamentos tomados como referência (100% óleo mineral), o fluido isolante composto de misturas atendeu aos requisitos exigidos para utilização em equipamentos elétricos.

Corroborar essa conclusão o fato dos religadores, disjuntores e transformadores que receberam misturas nas proporções acima, não terem apresentado qualquer indício de problemas em decorrência dessa utilização.

A figura 5 ilustra o conceito da miscibilidade entre os dois óleos e foi utilizada em workshop na Cosern.



Figura 5 – Ilustração da Mistura de óleos vegetal e mineral.

VI. AVALIAÇÃO GERAL DO PROJETO.

Aplicabilidade.

O resultado obtido neste projeto mostrou que as misturas de óleo vegetal novo com óleo mineral em uso, em qualquer proporção, são aplicáveis a religadores, disjuntores e transformadores de distribuição 15 KV, sem restrição.

Todas as constatações verificadas para estas misturas indicam não haver restrições para aplicação em outros equipamentos de classe de tensão superiores, porém necessariamente passando por procedimentos semelhantes ao dessa pesquisa.

Relevância.

A relevância do projeto está em proporcionar alternativa à demanda de óleo mineral isolante para transformadores, disjuntores e religadores que estão em operação, através da possibilidade, aqui verificada, da utilização de óleo vegetal para complementação do fluido isolante, de forma contínua e sempre que necessário.

Para as empresas distribuidoras de energia elétrica e ao Setor Elétrico Nacional o uso das misturas de óleos isolantes abre perspectivas de ampliação do uso do óleo vegetal contribuindo para sua competitividade de mercado e servindo de alternativa para substituição de óleo mineral que tende a apresentar elevação de preço, em médio prazo, em razão da perspectiva de escassez e aumento do custo de produção.

Para as empresas executoras, o presente projeto se constituiu numa oportunidade de obtenção de resultados práticos no desenvolvimento de tecnologias que envolvam misturas de óleos isolantes e colaboram com o meio ambiente.

Para a sociedade o resultado de grande relevância é a melhoria de processo associado ao fornecimento de energia elétrica ao fazer uso de recurso renovável e ambientalmente correto, além de promover a redução do uso de matéria prima oriunda do petróleo.

Originalidade e Inovação.

A originalidade deste projeto está na utilização de misturas de óleo vegetal novo em óleo mineral em uso para equipamentos elétricos em operação, classe 15 kV; cuja viabilidade técnica foi verificada conforme a metodologia proposta. Trata-se de uma rota tecnológica isolada, original e inovadora no setor elétrico nacional, iniciada na COSERN em 2008, abrangendo neste projeto disjuntores e transformadores de distribuição.

Parte da inovação consistiu na verificação de desempenho de misturas de 10 a 90% de óleo vegetal no mineral; confirmando a possibilidade de reposição sucessiva de apenas óleo vegetal, permitindo chegar par a passo a misturas isolantes com predominância de fluidos biodegradáveis, implementando a prática de aquisição de apenas de óleos biodegradáveis, de fontes renováveis, em substituição aos derivados de petróleo, de forma gradual e contínua.

VII. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

Para Religadores:

Os ensaios, inspeções e manutenções efetuadas nesses equipamentos durante o período de acompanhamento, possibilitaram observar algumas particularidades das misturas inseridas quando comparadas à utilização de óleo mineral puro. Seu desempenho foi bastante semelhante ao do religador com óleo mineral puro utilizado como padrão de referência, não havendo qualquer restrição à sua utilização como fluido isolante e de extinção de arco nesses equipamentos.

Nos religadores a mistura isolante utilizada manteve contato com o ar atmosférico, através do orifício de respiro para exaustão de gases e por tal motivo poderia ocorrer avanço na degradação desses fluidos isolantes, pelo fato da parte em óleo vegetal ser biodegradável. Na prática isso não foi constatado no período de quatro anos de acompanhamento.

Ao final do período de quatro anos, as misturas/óleo mineral de alguns dos religadores em acompanhamento, (que apresentavam quantidades elevadas de operações de desligamentos / religamentos) foram substituídas, por apresentarem carbonização excessiva, redução de rigidez dielétrica e aumento de teor de umidade. Isso ocorreu tanto para religadores que utilizavam misturas como para o religador padrão que utilizava óleo mineral puro. Todavia, a grande maioria desses equipamentos (que apresentaram poucos desligamen-

tos) ainda continua operando com a mesma mistura inserida há quatro anos. Nesse período, algumas dessas misturas que continuam em utilização, já foram submetidas a filtragem, com utilização de resistores de aquecimento, para redução do teor de umidade e retirada de partículas em suspensão (carbonização).

Também foi observado em equipamentos onde o fluido isolante mantém contato com a atmosfera, que os resultados dos ensaios de Tensão interfacial e Índice de Neutralização apresentavam certa degradação com o tempo de uso, mas que isso não interferiu e nem prejudicou a utilização ou o desempenho dos fluidos isolantes nesses tipos de equipamentos.

Outro fato interessante e que necessita de aprofundamento de estudos é o fato dos resultados de fator de potência a 25°C e a 100°C, para equipamentos em que o fluido isolante mantém contato com a atmosfera, apresentarem aumento acentuado dos valores dos ensaios com o correr do tempo de utilização. Apesar desses valores, terem apresentado patamares muito superiores aos valores citados em Norma, os resultados de rigidez dielétrica e de teor de umidade dos fluidos utilizados continuaram apresentando valores normais.

Normalmente, religadores que utilizam óleo mineral como fluido isolante e de interrupção de arcos elétricos, durante suas atuações operativas, apresentam formação de partículas carbonizadas no óleo e de uma fina película de material resultante do aquecimento do óleo isolante, sobre a superfície dos contatos fixos e móveis, próximo à região onde é feita a extinção do arco elétrico. Essa película resulta da decomposição de parte do óleo isolante pelas altas temperaturas geradas no local, com a dissipação da energia de extinção do arco elétrico. A formação dessa fina película promove um aumento da resistência ôhmica entre contatos fixo e móvel, dificultando a passagem de corrente e causando aumento de temperaturas no local. Com o correr do tempo e de novas operações do equipamento a resistência ôhmica entre os contatos aumenta progressivamente, prejudicando o desempenho e exigindo correção, visto que isso pode levar à falha do equipamento.

Com a utilização de misturas de óleo vegetal e óleo mineral, verificou-se que a formação de partículas carbonizadas na mistura continua existindo, mas não se forma a película isolante na região dos contatos e a resistência ôhmica entre contatos fixos e móveis se mantém praticamente constante durante todo o tempo de operação do equipamento.

Na primeira fase de ensaios, quando avaliado o potencial de abrasividade da mistura em contatos, verificou-se que a parte em óleo vegetal, lhe confere maior lubrificidade que a do óleo mineral; e isso poderia impedir a formação da película sobre os contatos quando se utiliza parte de óleo vegetal. Na segunda fase de ensaios, essa maior lubrificidade do óleo vegetal não se confirmou e esse aspecto necessita ser avaliado com maior profundidade em pesquisas futuras.

A figura 6 abaixo apresenta os valores de ensaios das misturas de óleos (25% Óleo Vegetal Isolante e 75% Óleo Mineral Isolante) para um dos religadores, localizado na posição 21C6 da Subestação Ceará Mirim da Cosern, por ocasião das amostragens Vo, V1, V2 e V3.

Religador SE Ceará Mirim 25%OVI75%OMI - Série B 252	Unidade de medida	25V75M Vo 14/06/11	25V75M V1 10/07/12	25V75M V2 12/12/12	25V75M V3 16/04/13	Valores de Norma	
						Óleo Vegetal	Óleo Mineral
1-DENSIDADE:	g/ml	0,8951	0,8763	0,9012	0,8887	0,96	0,861 a 0,9
2-TENSÃO INTERFACIAL a 25 °C:	mN/m	16,7	14,2	13	11	27 Mín	22 Mín
3-ÍNDICE DE NEUTRALIZAÇÃO:	mgKOH/g	0,2	0,31	0,28	0,68	0,06 Max	0,15 Max
4-TEOR DE ÁGUA corrig 20 °C:	Mg/kg=ppm	91,7	271,1	270,6	267,6	400 ppm Max	25 ppm Max
5-RIGIDEZ DIELÉTRICA:	KV	38	44	36	49	30 Mín NBR 42 Mín IEC	40 Mín IEC
6-FP a 25°C:	%	6,02	9,42	15,31	11,55	0,20 Max	0,5 Max
7-FP a 100°C:	%	62,7	103,2	123,1	117,04	4,0 Max	20 Max
8-PONTO DE FULGOR:	°C	168	160	154	156	275 Mín	140 Mín
9-VISCOSIDADE A 40 °C:	CsT	14,3	16,2	14,3	27,5	50 Max	11 Max
10-PONTO DE FLUIDEZ:	°C	-30	-42	-39	-36	-10 Max	-39 Max
11 - CONTAGEM DE PARTÍCULAS.	-	88713	23330	83628	200.136	-	-

Figura 6 – Valores resultantes dos ensaios em um religador.

Para Disjuntores:

Os disjuntores utilizados no projeto por dois anos apresentaram algumas pequenas diferenças com relação aos resultados obtidos para os religadores.

Inicialmente deve-se considerar que esses equipamentos utilizam pequenos volumes de óleo isolante em suas câmaras de extinção e possuem respiro para exaustão dos gases liberados, o que faz com que seu fluido isolante também esteja em contato permanente com a atmosfera.

Devido ao pequeno volume de óleo das câmaras de extinção, não foi possível fazer o acompanhamento através de coletas trimestrais para esses equipamentos, pois a cada coleta, o nível de óleo dos pólos teria que ser complementado em grande parte, o que descaracterizaria o acompanhamento da mistura visto que ela seria quase totalmente renovada a cada coleta.

Para disjuntores optou-se por efetuar as coletas apenas quando da inserção das misturas e ao final do projeto. Nas datas propostas para as coletas, foram efetuados ensaios de acompanhamento da situação da resistência de isolamento e da resistência ôhmica entre contatos desses equipamentos. Em caso de constatação de qualquer anormalidade nesses ensaios, o equipamento seria aberto e inspecionado, o que não foi necessário durante o acompanhamento por dois anos.

Os disjuntores tanto com mistura quanto de referência, tiveram substituídos seus fluidos isolantes na ocasião da manutenção efetuada após dois anos de acompanhamento. Os fluidos isolantes utilizados foram substituídos por terem apresentado excesso de carbonização presente nos fluidos isolantes. As análises laboratoriais mostraram baixa rigidez dielétrica de 16 KV e 17 KV, evidenciando a necessidade de troca dos fluidos. Para os demais resultados de ensaios de acompanhamento, os disjuntores apresentaram as mesmas características das observações citadas para os religadores.

O desempenho das misturas nesses equipamentos mostrou que as mesmas são perfeitamente apropriadas para utilização em disjuntores a pequeno volume de óleo. No acompanhamento do desempenho em campo as misturas apresentaram resultados praticamente iguais aos obtidos para o disjuntor padrão de comparação, que utilizou óleo mineral puro.

Para Transformadores de distribuição:

Transformadores de distribuição diferem dos religadores e disjuntores já comentados, por serem equipamentos selados, onde as misturas inseridas não entram em contato direto com o ar atmosférico. Essa situação é muito mais apropriada à utilização de óleos vegetais isolantes, os quais são biodegradáveis e apresentam características de decomposição quando em contato com o meio ambiente.

Foram utilizados no projeto quatorze transformadores de distribuição de 45 KVA, para a pesquisa. Doze deles receberam misturas de óleo vegetal e mineral, com proporções de óleo vegetal variando de 10 a 90% da composição da mistura. Dois transformadores restantes receberam 100% de óleo mineral e foram utilizados como padrão de referência comparativa com os outros que utilizaram misturas.

Nos transformadores que possuíam ponto de coleta de amostra, as amostragens ocorreram normalmente, porém para os que necessitavam de abertura da tampa superior para a coleta de amostras, as coletas foram feitas apenas no início e final do período de acompanhamento.

Os resultados dos ensaios físicos químicos mostraram que as características das misturas se mantiveram dentro dos limites estipulados por Norma para óleos vegetais e minerais. Ensaios de fator de potência, tensão interfacial, índice de neutralização, etc., não registraram alterações significativas de valores obtidos, nos quatorze meses de utilização das

misturas. Dessa forma, para transformadores de distribuição, não foram constatadas as mesmas variações de valores de ensaios, verificadas quando da utilização de misturas em equipamentos não selados como disjuntores e religadores.

Em março/13, um dos transformadores, apresentou falha com danos internos. Em análise no fabricante, constatou-se que a parte superior do bobinado do pólo H3 encontrava-se com fiação rompida e deslocada. O fabricante informou que esse tipo de defeito é característico de descarga atmosférica ou sobretensão. Dessa forma a falha do equipamento ocorreu por manifestação externa ao mesmo.

Na inspeção interna do transformador verificou-se que apesar do rompimento dos cabos da parte superior do pólo H3, não existiam sinais de descargas nas peças internas ou na parede da caixa do transformador, o que evidencia que a mistura utilizada como fluido isolante teve bom desempenho dielétrico e mesmo com realização de tentativa de

religamento do transformador, impossibilitou a propagação de arcos internos, que são comuns nesse tipo de evento.

Os ensaios laboratoriais da mistura isolante amostrada após o ocorrido apresentaram valores dentro dos limites de normas, e próximos aos valores obtidos quando da inserção inicial da mistura inicial (Vo).

Face aos resultados do acompanhamento do desempenho das misturas em transformadores de distribuição, concluiu-se que as mesmas são adequadas e apropriadas para utilização nesses equipamentos, sem necessidade de adoção de quaisquer outras medidas complementares. Todavia, recomenda-se que tais equipamentos continuem sendo acompanhados periodicamente para verificação de eventual alteração de parâmetros da mistura isolante.

A figura 7 apresenta os valores de ensaios das misturas de óleos (25% Óleo Vegetal Isolante e 75% Óleo Mineral Isolante) para um dos transformadores, localizado na SE Maisa, para as amostragens Vo inicial e V3 final.

ENSAIOS TR SE Maisa 75%OVI25%OMI - Série 95255	Unidade de medida	75V25M Vo 09/06/11	75V25M V3 08/04/13	Valores de Norma	
				Óleo Vegetal	Óleo Mineral
1- DENSIDADE.	g/ml	0,9015	0,9082	0,96	0,861 a 0,9
2- TENSÃO INTERFACIAL a 25° C.	mN/m	29,6	25,1	27 Mín	22 Mín
3- INDICE DE NEUTRALIZAÇÃO:	mgKOH/g	0,01	0,06	0,06 Max	0,15 Max
4- TEOR DE ÁGUA corrig 20° C.	Mg/kg= ppm	26,3	154,3	400 ppm Max	25 ppm Max
5- RIGIDEZ DIELÉTRICA.	KV	54	58	30 Min NBR 42 Min IEC	40 Mín IEC
6- FP a 25°C:	%	0,081	1,487	0,20 Max	0,5 Max
7- FP a 100°C:	%	1,05	17,71	4,0 Max	20 Max
8- PONTO DE FULGOR.	°C	186	174	275 Mín	140 Mín
9 - VISCOSIDADE A 40° C.	CsT	26,4	23,8	50 Max	11 Max
10 - PONTO DE FLUIDEZ.	°C	-36	-27	-10 Max	-39 Max
11 - CONTAGEM DE PARTÍCULAS.	-	-	2.995	-	-

Figura 7 – Valores resultantes dos ensaios em um transformador.

As demais considerações que se seguem, são válidas para os três equipamentos.

Pelos resultados dos acompanhamentos de campo, resultados de ensaios e comparativos com resultados de equipamentos similares que utilizaram óleo mineral isolante durante o mesmo período de avaliação, as misturas não apresentaram nenhuma restrição à sua utilização, em quaisquer das proporções avaliadas e podem ser utilizadas em religadores (GVO), disjuntores (PVO) e transformadores de distribuição classe 15 KV sem necessidade de outras avaliações.

As misturas apresentaram durante todo o período de acompanhamento, condições iguais ou melhores que as

apresentadas pelos equipamentos similares que utilizaram apenas óleo mineral.

A característica higroscópica da parte em óleo vegetal da mistura favorece a retenção da maior parte da umidade interna do equipamento no fluido isolante, de onde é mais fácil sua retirada. Essa característica higroscópica do óleo vegetal, também possibilita maior proteção de partes sensíveis do isolamento sólido, tais como papel isolante, papelão, madeira, fenolite, etc., fazendo com que o equipamento tenha maior vida útil e menores necessidades de manutenção.

O óleo vegetal propicia esterificação natural a componentes internos do isolamento sólido dos equipamentos (papel isolante, papelões, madeira, etc.), e isso no caso de trans-

formadores possibilita uma repotenciação natural desses equipamentos. Essa esterificação natural permite aos transformadores, operar com carregamentos e temperaturas de óleo superiores às convencionais, sem perda de vida útil. Nas misturas essa característica se mantém, porém a mesma é função da concentração de óleo vegetal presente na composição. Para que a característica de esterificação natural seja eficiente, a proporção de óleo vegetal na mistura deve ser suficiente para esterificar todo o papel isolante do transformador. Para misturas essa intensidade de esterificação ainda não foi avaliada. Esta questão deve ser objeto de pesquisa futura pela relevância potencial da exploração dessa característica.

- [22]. 13-04 RTecE3 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 02-03-02.
- [23]. 13-05 RTecE4 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 02-04-01.
- [24]. MGM Óleos Isolantes, Relatório no00X/2013
- [25]. Itaipu Transformadores, Relatório RRC nº008/2013

VIII.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Projeto P&D ANEEL /COSERN/CGTI/B&G código 0370 -“Análise de Inserção de Novos Fluidos, Econômico e Tecnicamente mais Eficientes, em Disjuntores”, 2007/2010.
- [2]. L. O. Sales, I. M. Araújo; J. F. Santos Neto; J. Mak; F. Faria; L. L. Marques. “A Experiência da Cosem em inserção de óleo vegetal em equipamentos de transmissão.”, XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI 2012 – Rio de Janeiro – outubro/2012.
- [3]. COOPER POWER SYSTEMS. - Thin Film Oxidation - Reference Information R900-20-2 - Dez/2003.
- [4]. FIACCO, E. D. - Oxidation Stability in Dielectric Fluids - Revista Eletrobrasil – Cooper Power Systems.
- [5]. COOPER POWER SYSTEMS. - Oxidation/Polymerization of Envirotemp FR3 Fluid - FREQUENTLY ASKED QUESTIONS, Nov/2008.
- [6]. KONOPATZKI E. A., CARPENEDO. P. R., JUNIOR. S. G. B., Copel - Cia. Paranaense de Energia “Desempenho de óleos vegetais isolantes em transformadores de distribuição” - Eletricidade Moderna – n. 165, Jul/2011
- [7]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 7070 (2006) – Amostragem de gases e óleo mineral isolantes de equipamentos elétricos e análise dos gases livres e dissolvidos.
- [8]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 10710 (2006) – Líquido isolante elétrico - Determinação do teor de água.
- [9]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 60156 (2004) – Líquidos isolantes - Determinação da rigidez dielétrica à frequência industrial - Método de ensaio.
- [10]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 12133 (1991) – Líquidos isolantes elétricos - Determinação do fator de perdas dielétricas e da permissividade relativa (constante dielétrica) - Método de ensaio.
- [11]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 11341 (2008) – Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland.
- [12]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 15422 (2006) – Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos.
- [13]. Manual 2008 do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, Maio 2008; Agência Nacional de Energia Elétrica –ANEEL
- [14]. 10-12 RTecE1 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 01-01-00
- [15]. 11-01 RTecE2 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 01-02-00.
- [16]. 11-02 RTecE3 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 01-03-00.
- [17]. 11-04 RTecE4 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 01-04-00.
- [18]. 11-06 RTecE5 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 01-05-02.
- [19]. 11-10 RTecE6 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 01-06-00.
- [20]. 12-08 RTecE1 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 02-01-01.
- [21].] 12-12 RTecE2 CGTI-COSERN PD 040 08 2010 Misturas Disj Trafos 15 KV 02-02-01.