

Aplicação de Misturas de Fluidos Biodegradáveis com Óleo Mineral Isolante em Reguladores de Tensão.

José Mak, Flávio Faria, Luciano C. Gonzalez Jr, Igor M. Araújo, Laurence L. Marques, José E. B. Querido, Viviane M. Vieira, Patrícia C. T. Lucena, Alexandro S. Rosa.

Resumo – Este projeto dá continuidade a estudos já desenvolvidos pela COSERN, para inserção de misturas de óleo vegetal isolante e óleo mineral isolante, em equipamentos de classe 15 KV. Este artigo apresenta o estudo e avaliação da utilização de misturas de óleo vegetal isolante biodegradável com óleo mineral isolante em diferentes proporções, em Reguladores de Tensão 15KV, como alternativa para substituição paulatina dos óleos minerais isolantes convencionais. 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 Reguladores de Tensão, com ganhos ambientais e de aumento de vida útil para esses equipamentos. Foram estudadas as características dos novos fluidos (misturas) e sua influência sobre Reguladores de Tensão 15KV das redes de distribuição, visando avaliar o desempenho dos mesmos.

Palavras-chave – Fluidos isolantes, Misturas, Óleo Vegetal, Óleo Mineral, Regulador de Tensão.

I. INTRODUÇÃO

Este é o artigo técnico referente ao Projeto de P&D-0040-0009/2010, intitulado "Aplicação de Misturas de Fluidos Biodegradáveis com óleo Mineral Isolante em Equipamentos de Maior Risco e Sensibilidade à Qualidade do Isolamento Líquido".

O projeto foi desenvolvido entre a COSERN – Grupo Neoenergia, CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e B&M Pesquisa e Desenvolvimento LTDA, dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Cosern, regido pela ANEEL, com duração de 36 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 é enorme a quantidade de equipamentos elétricos que utiliza 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 meio ambiente.

O petróleo é originário de fonte não renovável e mesmo com as recentes descobertas, sua escassez é questão de tempo, estimando-se que em virtude dessa escassez, seu custo deverá aumentar 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 os óleos vegetais 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 que utilizam 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.

Hoje não se afigura viável financeiramente, a substituição em grande escala, do óleo mineral em uso por óleo vegetal novo.

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 0040-0009/2010.

Luciano C. Gonzalez Jr, Igor M. Araújo e Patrícia C. T. Lucena trabalham na COSERN (e-mail: luciano.gonzalez@cosern.com.br, igor.araujo@cosern.com.br e patricia.lucena@cosern.com.br)

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

Viviane M. Vieira e Alexandro S. Rosa trabalham no CGTI Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação. (email: viviane@buenomak.com.br e alexandro@buenomak.com.br).

mentos novos e para reposição de óleo nos equipamentos existentes, utilizando misturas.

O uso de óleo vegetal para repor o nível de óleo isolante em equipamentos existentes que utilizam óleo mineral, representa uma rota tecnológica inovadora como alternativa significativa para a substituição da demanda de óleo mineral, impulsionando 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 Estudo para a aplicação de misturas de óleo vegetal novo em óleo mineral usado em Reguladores de tensão em operação; para verificação de quais impactos poderiam ocorrer quanto à necessidade de manutenção desses reguladores de tensão e do próprio fluido em relação ao óleo isolante convencional; com acompanhamento da evolução das características quando da troca ou complementação do óleo existente.

Foram selecionados três reguladores de tensão monofásicos (compondo uma banca reguladora) para inserção das misturas e definida uma unidade do equipamento como padrão de referência, (a qual recebeu somente óleo mineral isolante) e cujos resultados de ensaios foram utilizados como padrão comparativo com as outras duas unidades que receberam misturas. Estes equipamentos foram acompanhados em operação em campo, pelo período de dezesseis meses.

O projeto estudou a inserção de óleo vegetal novo em equipamentos contendo óleo mineral em uso. Dessa forma quando da inserção dos fluídos isolantes para acompanhamento, foram mantidas essas características. Foi ensaiado em laboratório o óleo mineral em uso nos equipamentos da COSERN, para verificação do atendimento aos padrões de norma, visando garantir que sua utilização na pesquisa, não iria distorcer os resultados dos ensaios.

Os equipamentos selecionados para inserção das misturas e do óleo mineral puro (padrão de referência) foram submetidos a manutenção geral e ensaios em oficina, antes e após a inserção dos fluídos isolantes para instalação em campo; visando garantir que não portassem defeitos incipientes que pudessem interferir nos resultados.

A partir daí, foram feitas avaliações periódicas nas quais eram coletadas amostras de óleo para ensaios em laboratório e efetuadas inspeções visuais mensais, para avaliação das condições externas dos equipamentos.

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

Ao final do período de acompanhamento os reguladores de tensão foram retirados de operação e levados novamente à oficina, onde foram ensaiados, abertos para inspeção interna e avaliados quanto às condições e estado dos componentes. Após avaliações, os equipamentos foram fechados, ensaiados e tiveram seus níveis de fluídos isolantes complementados, para retorno à operação no mesmo local de onde foram retirados.

III. ETAPAS.

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

Primeiro Ano: 05 etapas.

Segundo Ano: 05 etapas.

Terceiro Ano: 04 etapas.

Primeiro Ano:

No primeiro ano do projeto foram estudados e analisados inicialmente os resultados obtidos com a inserção de misturas em projetos de P&D desenvolvidos anteriormente pela COSERN. Esse projeto anterior estudou a aplicação de misturas de óleo vegetal e mineral em religadores e disjuntores de classe 15 kV, instalados em subestações de distribuição. Os resultados obtidos com esse projeto de aplicação de misturas em Religadores e Disjuntores 15 kV foram tão promissores que incentivaram a prospecção e avaliação de desempenho de misturas semelhantes em equipamentos que apresentam maior risco e alta sensibilidade a falhas elétricas como os reguladores de tensão das redes de distribuição. Paralelamente a este projeto a COSERN também realizou outro P&D de inserção de misturas em disjuntores e transformadores de distribuição, o que trouxe maior quantidade de informações para a utilização de misturas em equipamentos elétricos.

A seguir foi elaborado o Plano de Estudo para a pesquisa e escolhidos os equipamentos pilotos. No plano de estudo foram definidos os seguintes passos:

1) Definição de ensaios de laboratório necessários ao acompanhamento do desempenho dos fluídos isolantes em utilização no projeto. Definidas periodicidades de coletas de amostras (trimestrais) e de inspeções visuais em campo (mensais). Efetuados em laboratório ensaios de resistência ao arco, para verificação do comportamento dos fluídos isolantes a serem utilizados, em tais condições.

2) Inspeção e Manutenção geral nos Reguladores de Tensão em oficina, antes da inserção das misturas. Ensaios de relação de transformação em todos os taps, resistência de isolamento e de resistência entre contatos antes e após a manutenção. Os ensaios e manutenção geral visaram corrigir eventuais defeitos incipientes que pudessem comprometer os resultados no decorrer do estudo.

3) Retirada dos equipamentos ao final do período de acompanhamento, para ensaios, abertura e inspeção interna em oficina, visando avaliar o comportamento e situação dos componentes internos. Os reguladores de tensão utilizados no projeto têm suas características descritas mais à frente, na etapa que aborda a instalação em campo.

Definido o Plano de Estudo, foram realizadas reuniões com laboratórios de ensaios de óleos isolantes para definição dos ensaios mais convenientes para acompanhamento do comportamento das misturas durante o estudo. Foram discutidos ensaios de Resistência ao arco elétrico, ensaios físicos químicos e ensaios de gás cromatografia.

Nos reguladores de tensão existe presença de arco elétrico entre contatos durante a mudança de taps e para conhecer o comportamento dos fluídos isolantes passíveis de utilização no projeto, quando submetidos a essas condições, foram efetuados ensaios de resistência ao arco nos mesmos. Esse ensaio foi efetuado em laboratório, com aplicação de descargas pelo medidor de rigidez dielétrica, utilizando-se eletrodos de disco à distância de 2,5 mm e elevando-se a tensão aplicada até que ocorresse o rompimento do dielétrico. Cada fluido isolante ensaiado foi submetido a séries de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 descargas (8 séries para cada fluido isolante). Após cada série eram anotados os valores iniciais e finais da amostra ensaiada e a seguir a amostra era substituída por porção nova da mesma mistura para se iniciar nova série.

Ao final de cada série, foram coletadas amostras para realização de ensaio de contagem de partículas e teor de água. Retirado também o eletrodo para inspeção visual, fotos e limpeza.

Os fluídos isolantes ensaiados estão inseridos na tabela I a seguir:

Tabela I. Resultados óleo mineral regenerado em utilização.

Fluido	Notação	Composição
1	100M	100% de óleo mineral (óleo mineral puro)
2	100V	100% de óleo vegetal (óleo vegetal puro)
3	10V90M	10% de óleo vegetal e 90% de óleo mineral
4	25V75M	25% de óleo vegetal e 75% de óleo mineral
5	50V50M	50% de óleo vegetal e 50% de óleo mineral
6	75V25M	75% de óleo vegetal e 25% de óleo mineral
7	90V10M	90% de óleo vegetal e 10% de óleo mineral

A seguir curvas obtidas para a mistura 10V90M.

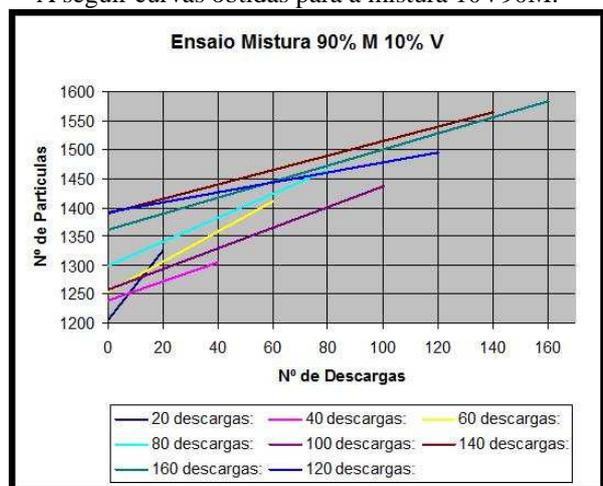


Figura 1 – Curvas obtidas para 10V90M

Para os ensaios físicos químicos foram definidos os seguintes parâmetros de acompanhamento:

Cor; Densidade; Tensão Interfacial; Índice de Neutralização, Teor de Água; Rigidez Dielétrica; Fator de potência

(Fator de Perdas) a 25° C e 100° C, Ponto de Fulgor; Viscosidade; Ponto de Fluidez e Contagem de Partículas.

No acompanhamento foram foco de atenção os parâmetros referentes a Teor de água, Rigidez Dielétrica e Fator de perdas, visto que os mesmos normalmente estão ligados as condições de isolamento interno do equipamento.

Para os ensaios de gás cromatografia foram definidos para acompanhamento os seguintes gases:

Hidrogênio (H₂), Oxigênio (O₂), Nitrogênio (N₂), Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Etileno (C₂H₄), Etano (C₂H₆), Acetileno (C₂H₂).

Não foram encontradas referências sobre quantidades características de gases que se formam em reguladores de tensão quando em operação. Dessa forma os valores obtidos no projeto para os gases componentes, foram comparados entre os pólos que utilizam misturas e o pólo que utiliza somente óleo mineral (padrão).

Definidos os ensaios de laboratório foi efetuada a reavaliação do Plano de Estudo, para verificação de possíveis inconsistências. Não foram constatadas não conformidades e o plano de estudo, foi ratificado e aprovado na íntegra pelos pesquisadores. Na ocasião definiu-se que à medida que os resultados obtidos fossem avaliados, eventuais desvios seriam ajustados no decorrer do projeto, o que não foi necessário.

Como a prática do projeto visava representar as condições específicas existentes no campo, nas misturas efetuadas, o óleo vegetal novo foi adicionado ao óleo mineral em uso no equipamento. Isso gerou a necessidade de se conhecer as características do óleo mineral em uso pela COSERN. Foram coletadas amostras do óleo mineral regenerado padrão utilizado pela COSERN e submetidos a ensaios físicos químicos para verificação de características.

Na Tabela II abaixo são apresentados os resultados dos ensaios físicos químicos obtidos em laboratório para o óleo mineral em utilização pela COSERN.

Tabela II. Resultados óleo mineral regenerado em utilização.

Ensaio	Resultados		Valores Norma Óleo Mineral
	Unidade	Valor	
1- Densidade	g/ml	0,868	0,861 a 0,9
2- Tensão Interface a 25° C	mN/m	32,8	22 Mín
3- Índice de Neutralização	mgKOH/g	0,01	0,15 Máx
4- Teor água corrigido a 20°C	mg/kg=ppm	11,6	25 ppm Máx
5- Rigidez Dielétrica	kV	65	35 Mín IEC
6- Fator de potência a 25° C	%	0,047	0,5 Máx
7- Fator de potência a 100° C	%	2,00	20 Máx
8- Ponto de Fulgor	°C	154	140 Mín
9- Viscosidade	Cst	11,7	11 Máx
10- Contagem Partículas	Microns	2850	Não normatizado

Os resultados indicam que o óleo mineral regenerado em uso na COSERN está dentro dos limites de Norma estabelecidos para óleos minerais isolantes.

Segundo Ano:

Nos segundo ano de projeto, foi efetuada a segunda fase de experimentos laboratoriais no laboratório de Alta Tensão da FEEC na UNICAMP. Foram realizados ensaios de Avaliação de impulso de descarga AC interrompida, em função da distância entre eletrodos de ensaios. Esse ensaio foi efe-

tuado para as amostras iniciais dos fluídos isolantes envolvidos no projeto, ou seja:

- 1) Óleo mineral isolante em uso na COSERN. (100M)
- 2) Óleo vegetal novo. (100V)
- 3) Mistura de proporção 75% de óleo vegetal com 25% de óleo mineral (75V25M - uma das misturas a avaliar).
- 4)) Mistura de proporção 25% de óleo vegetal com 75% de óleo mineral (25V75M - segunda mistura a avaliar).

Periodicamente esses ensaios foram repetidos para as mostras dos fluídos isolantes em acompanhamento nos equipamentos. Com o envelhecimento dos fluídos isolantes pelo tempo de utilização, a repetição dos ensaios de descargas nas amostras subseqüentes, com as mesmas distâncias entre eletrodos, dão idéia do comportamento operativo dos RTs na rede de distribuição, com os fluídos isolantes utilizados.

A Foto 1 mostra a cuba desenvolvida para a realização dos ensaios.



Figura 2 – Cuba com OVI para ensaio de impulso de descarga AC.

A seguir curvas características obtidas nos ensaios dos fluídos isolantes.

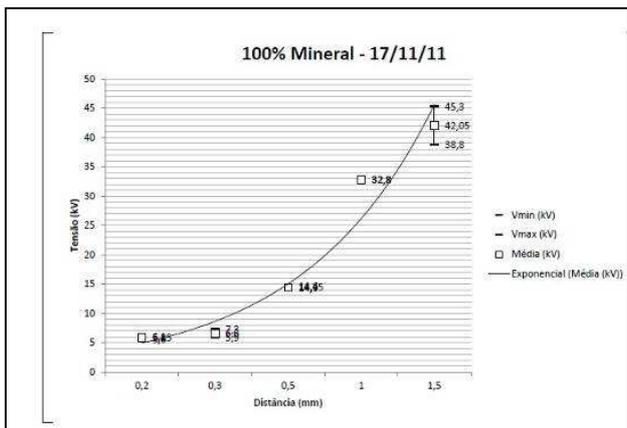


Figura 2 – Curva resultante para óleo mineral.

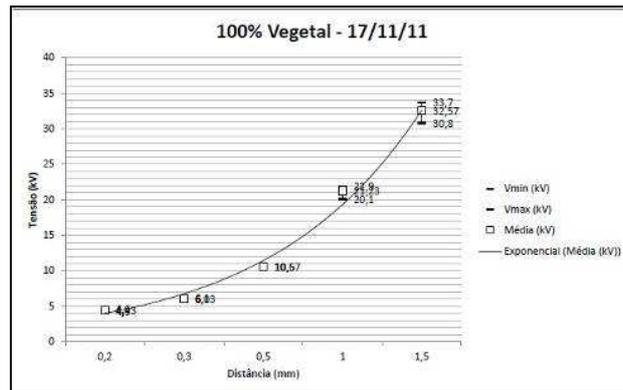


Figura 3 – Curva resultante para óleo vegetal.

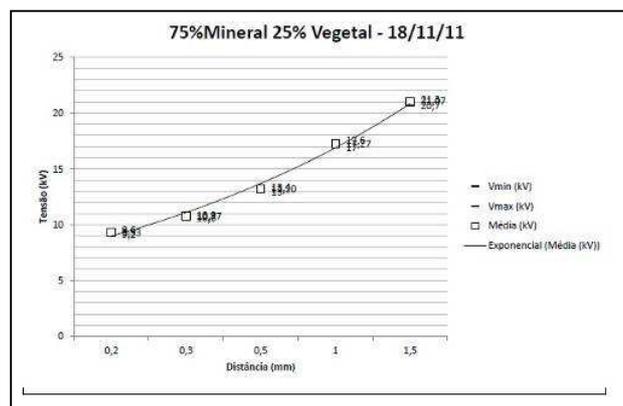


Figura 4 – Curva resultante para mistura 25V75M.

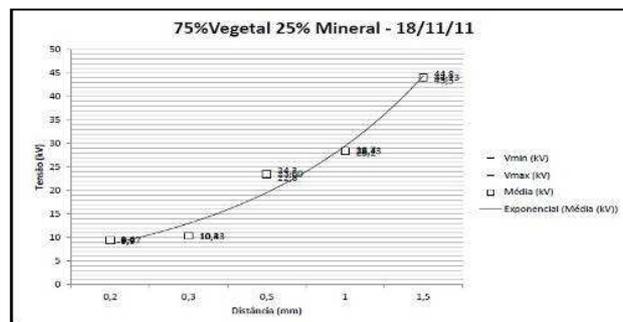


Figura 5 – Curva resultante para mistura 75V25M.

A seguir curva comparativa de resultados entre óleo mineral e vegetal.

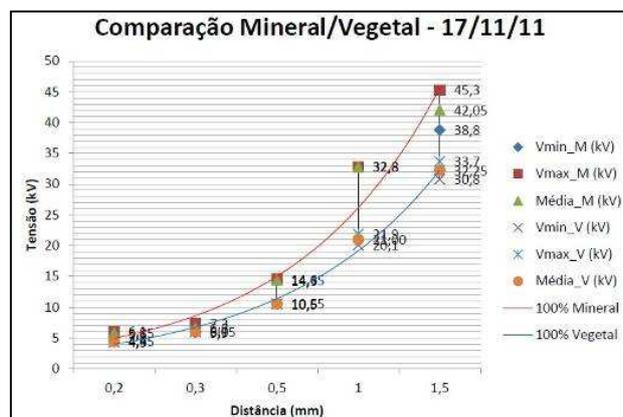


Figura 6 – Curva comparativa resultante para OMI e OVI.

Inserção das misturas nos reguladores de tensão e instalação no campo.

Nessa fase do projeto foram executadas as manutenções dos RTs em oficina, com execução de ensaios antes e após manutenção, abertura para verificações e correção de eventuais anormalidades internas e inserção dos fluídos isolantes a avaliar. Foram utilizados como pilotos para os ensaios e acompanhamento, três unidades de reguladores de tensão monofásicos, com as seguintes características:

Regulador de tensão Monofásico Tipo B.

Fabricante: Toshiba.

Tipo: HCMR.

Potência Nominal: 276 KVA.

Tensão Nominal: 13,8 KV.

Corrente Nominal: 200 A.

Frequência: 60 Hz.

Elevação de Temperatura: 55 °C.

Regulação: +/- 10% em 32 degraus de 0,625%.

Óleo: Naftênico.

Volume de óleo: 570 litros.

Resfriamento: ONAN

Os pólos monofásicos componentes da banca Reguladora de Tensão foram os seguintes:

Tabela III. Dados Reguladores Piloto.

Serial	Nº Patrimônio Cosern	Ano Fabricação	Contador de Operações	Fluidos Utilizados
E98615	20102975	10/98	284867	25V75M
E98617	20040183	10/98	132383	75V25M
E98625	20102570	12/98	308966	100M

Na manutenção foi efetuada inspeção em todos os componentes internos, com substituição de componentes desgastados ou danificados, de modo a garantir a eliminação de eventuais problemas internos que pudessem interferir no resultado das avaliações de desempenho das misturas, durante o período de acompanhamento.

Foram efetuados ensaios de resistência de isolamento com o Megger, ensaios de relação de transformação com o TTR, em todos os taps dos equipamentos e resistência entre contatos (antes e após manutenção).

Para acompanhamento e avaliação dos fluídos isolantes cada um dos pólos recebeu as seguintes composições:

- Pólo de nº série E98617 - Mistura com 75% de óleo vegetal biodegradável + 25% de óleo mineral - 75V25M.
- Pólo de nº série E98625 - 100% de óleo mineral (Pólo de referência para avaliações comparativas) - 100M.
- Pólo de nº série E98615 - Mistura com 25% de óleo vegetal biodegradável + 75% de óleo mineral - 25V75M.

Os pólos foram revisados no mês de março/12, e as composições escolhidas inseridas nos mesmos em 22 e 23 de Março, nas proporções citadas na tabela acima.

As amostras de óleo para ensaio físico químico e de cromatografia gasosa também foram coletadas na própria oficina especializada, em 23/03/12 e encaminhadas ao laborató-

rio de óleo para análise. Para controle e acompanhamento, essas amostras iniciais foram denominadas amostras "V₀".

Foram ainda inspecionadas pintura interna e borrachas de vedação em utilização nos três pólos dos reguladores, para verificação de suas condições de conservação e utilização, constatando-se que estavam em perfeitas condições. Não foram coletadas amostras desses materiais visto que tal procedimento poderia causar danos às vedações ou pintura interna. Na inspeção ao final do projeto os equipamentos foram abertos para inspeção em oficina e esses materiais foram novamente verificados, para avaliação do estado de conservação, com a finalidade de verificar se a utilização de misturas causou algum tipo de inconveniente aos mesmos. Esses resultados serão comentados mais adiante, na etapa referente à inspeção final dos RTs.

A seguir fotos das atividades de abertura, inspeção interna, inserção de fluídos isolantes e coletas de amostras nos equipamentos.



Foto 03 – Pólo monofásico em posição para abertura.



Foto 04 – RT com contatos internos desgastados. Foram substituídos.



Foto 05 – Coleta de amostras de óleo para ensaios.

As amostras de óleo para os ensaios de avaliação de impulso de descarga AC interrompida foram encaminhadas à Unicamp. Os ensaios dessas amostras iniciais “V₀” coletadas em 25/03/12, foram realizados na Unicamp em março/12 e os resultados obtidos foram praticamente idênticos aos dos ensaios experimentais realizados em Novembro/11.

Esses ensaios foram repetidos para as amostras coletadas em junho/13 e setembro/13.

A seguir são apresentadas as curvas resultantes para as amostras V₀, coletadas em março/12.

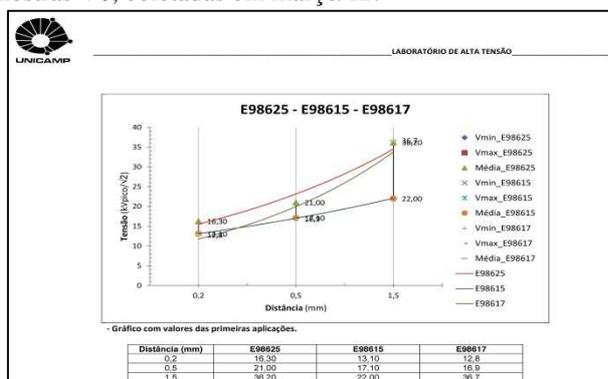


Figura 7 – Curvas resultantes (V₀) para os três fluidos isolantes.

Inseridos os fluidos isolantes e realizadas as manutenções iniciais, os reguladores de tensão foram instalados em campo em 24/04/12, conforme fotos abaixo.



Foto 6 – Banca reguladora instalada em campo.

As unidades de RT's com pintura na cor verde receberam misturas de óleo vegetal e mineral nas proporções 25V75M e 75V25M. A unidade com pintura cinza foi tomada como padrão de referência, e recebeu apenas óleo mineral.

Ao ser energizada a banca reguladora, o pólo de número série E98615 (25V75M) apresentou problemas de vazamento de corrente em uma das buchas (possivelmente danos no transporte). A banca foi desligada e o pólo com problemas retirado para reparos.

O pólo retirado foi recuperado e reinstalado no local em 25/05/2012, com a banca reguladora retornando à operação.

A tabela IV a seguir, mostra os valores de norma considerados como referência para óleos isolantes vegetais e minerais.

Tabela IV – Valores de Norma

Ensaio	Unidade Medida	Valores de Norma	
		OVI	OMI
1 Cor	-		
2 Densidade:	g/ml	0,96	0,861 a 0,9
3 Tensão Interfac. a 25°C	mN/m	27 Mín	22 Mín
4 Índice Neutraliz.	mgKOH/g	0,06 Max	0,15 Max
5 Teor Água corr. 20°C	mg/kg=ppm	400 ppm Max	25 ppm Max
6 Rigidez Dielétrica	KV	30 Mín NBR 42 Mín IEC	40 Mín IEC
7 FP a 25°C	%	0,20 Max	0,5 Max
8 FP a 100°C	%	4,0 Max	20 Max
9 Ponto de Fulgor	°C	275 Mín	140 Mín
10 Viscosidade a 40°C	CsT	50 Max	11 Max
11- Ponto de Fluidez	°C	-10 Max	-39 Max
12 Contagem Partículas	un	-	-
13 N° Comutações	un	-	-

Os resultados obtidos nos ensaios de laboratório estão dentro dos valores de Norma para óleos vegetais e minerais.

Não foram encontradas nas pesquisas bibliográficas, referências de registros de quantidade de gases em óleo isolante, quando utilizados em reguladores de tensão.

Para o acompanhamento de campo foram definidas inspeções visuais mensais e coletas de amostras trimestrais.

As coletas de amostras ocorreram nas seguintes ocasiões:

- Amostragem V₀ em 23/03/12,
- Amostragem V₁ em 17/08/12,
- Amostragem V₂ em 30/11/12,
- Amostragem V₃ em 27/05/13,
- Amostragem V_f em 05/09/13.

Todas as amostras coletadas foram submetidas a ensaios físicos químicos e de gás cromatografia em laboratório.

Terceiro Ano:

Nesse ano foi dada continuidade ao acompanhamento de campo, e coletadas as amostras V₃ e V_f. As figuras 08, 09 e 10 mostram os resultados dos ensaios físicos químicos obtidos para todas as amostras V₀ a V_f.

RT Toshiba – 25V75M	Unidade de Medida	V ₀ 25V75M 25/03/2012	V1 25V75M 17/08/2012	V2 25V75M 30/11/2012	V3 25V75M 27/05/2013	Vf 25V75M 05/09/2013	Valores de Norma	
							Óleo Vegetal	Óleo Mineral
Série E98615								
1- Cor	-		2,5	2	2	2		
2- Densidade	g/ml	0,9157	0,8863	0,8993	0,8853	0,8847	0,96	0,86 a 0,9
3- Tensão Interfac. a 25°C	mN/m	29,3	26,7	25,1	25,1	24,4	27 Mín	22 Mín
4- Índice de Neutralizaç.	mgKOH/g	0,02	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06 Max	0,15 Max
5- Teor Água corrig 20°C	mg/kg=ppm	135,4	47,6	68,6	58,7	57	400 ppm Max	25 ppm Max
6- Rigidez Dielétrica	KV	34	59	51	61	64	30 Min NBR	
							42 Min IEC	40 Min IEC
7- FP a 25°C	%	0,137	0,464	0,601	0,551	0,68	0,20 Max	0,5 Max
8- FP a 100°C	%	2,49	7,95	9,53	10,06	11,11	4,0 Max	20 Max
9- Ponto de Fulgor	°C	296	160	157	157	160	275 Mín	140 Mín
10- Viscosidade a 40°C	CsT	38	14,9	14,3	15,1	14,9	50 Max	11 Max
11- Ponto de Fluidiez	°C	-18	-30	-33	-33	-36	-10 Max	-39 Max
12- Contagem Partículas	un	44.628	9.850	2.110	3.110	3.919	-	-
13- Número Comutações	un	284.867	284.977	284.984	285.000	285024	-	-

Figura 08 – Resultados de ensaios físicos químicos Polo E98615.

RT Toshiba – 75V25M	Unidade de Medida	V ₀ 75V25M 25/03/2012	V1 75V25M 17/08/2012	V2 75V25M 30/11/2012	V3 75V25M 27/05/2013	Vf 75V25M 05/09/2013	Valores de Norma	
							Óleo Vegetal	Óleo Mineral
Série E98617								
1- Cor	-			1,0				
2- Densidade	g/ml	0,9155	0,9175	0,9065	0,909	0,9091	0,96	0,86 a 0,9
3- Tensão Interfac. a 25°C	mN/m	29,8	29,9	29,9	27,6	27,3	27 Mín	22 Mín
4- Índice de Neutralizaç.	mgKOH/g	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06 Max	0,15 Max
5- Teor Água corrig 20°C	mg/kg=ppm	44,6	52,5	71,9	66	55,3	400 ppm Max	25 ppm Max
6- Rigidez Dielétrica	KV	44	51	60	51	61	30 Min NBR	
							42 Min IEC	40 Min IEC
7- FP a 25°C	%	0,169	0,415	0,243	0,534	0,587	0,20 Max	0,5 Max
8- FP a 100°C	%	2,74	7,22	7,42	7,19	8,21	4,0 Max	20 Max
9- Ponto de Fulgor	°C	287	210	196	196	198	275 Mín	140 Mín
10- Viscosidade a 40°C	CsT	37,3	29,3	30	29,4	30,3	50 Max	11 Max
11- Ponto de Fluidiez	°C	-18	-21	-24	-24	-21	-10 Max	-39 Max
12- Contagem Partículas	un	224.783	76.815	20.170	6.846	19.320	-	-
13- Número Comutações	un	132.383	135.274	138.270	145.675	150.063	-	-

Figura 09 – Resultados de ensaios físicos químicos Polo E98617.

RT Toshiba – 100M	Unidade de Medida	V ₀ 100M 25/03/2012	V1 100M 17/08/2012	V2 100M 30/11/2012	V3 100M 27/05/2013	Vf 100M 09/09/2013	Valores de Norma	
							Óleo Vegetal	Óleo Mineral
Série E98625								
1- Cor	-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5		
2- Densidade	g/ml	0,8713	0,8723	0,884	0,8713	0,8717	0,96	0,86 a 0,9
3- Tensão Interfac. a 25°C	mN/m	32,1	34,2	30,6	30,5	29,8	27 Mín	22 Mín
4- Índice de Neutralizaç.	mgKOH/g	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02	0,06 Max	0,15 Max
5- Teor Água corrig 20°C	mg/kg=ppm	14,5	14,2	25,5	23,1	18,8	400 ppm Max	25 ppm Max
6- Rigidez Dielétrica	KV	49	57	51	59	63	30 Min NBR	
							42 Min IEC	40 Min IEC
7- FP a 25°C	%	0,081	0,092	0,078	0,245	0,166	0,20 Max	0,5 Max
8- FP a 100°C	%	1,74	1,9	1,76	1,74	1,95	4,0 Max	20 Max
9- Ponto de Fulgor	°C	160	150	150	146	148	275 Mín	140 Mín
10- Viscosidade a 40°C	CsT	10,2	10,5	10,5	10	10,1	50 Max	11 Max
11- Ponto de Fluidiez	°C	-28	-24	-24	-27	-27	-10 Max	-39 Max
12- Contagem Partículas	un	6.498	16.990	5.685	7.123	2.121	-	-
13- Número Comutações	un	308.966	311.295	313.618	318.771	321.970	-	-

Figura 10 – Resultados de ensaios físicos químicos Polo E98625.

Avaliação dos resultados dos ensaios físicos químicos:

As avaliações dos resultados dos ensaios físicos químicos foram as seguintes:

a) Densidade: g/ml.

Fluído Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	0,9157	0,8863	0,8993	0,8853	0,8847
2) 75V25M	0,9155	0,9175	0,9065	0,9090	0,9091
3) 100M	0,8713	0,8723	0,8840	0,8713	0,8717
Valores de Norma	Óleo Vegetal 0,96		Óleo Mineral 0,861 a 0,9		

Os valores obtidos nos ensaios estão dentro dos limites estabelecidos em Norma, para óleos isolantes vegetais e minerais.

Logo que é efetuada a mistura, o fluído isolante resultante apresenta valores de densidade próximos do valor normatizado para óleos vegetais. Com o passar do tempo a mistura se torna mais homogênea e o valor da densidade tende a se aproximar dos valores de norma do fluído inserido em maior proporção.

b) Tensão Interfacial a 25° C: mN/m.

Fluído Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	29,3	26,7	25,1	25,1	24,4
2) 75V25M	29,8	29,9	29,9	27,6	27,3
3) 100M	32,1	34,2	30,6	30,5	29,8
Valores de Norma	Óleo Vegetal 27 Mín.		Óleo Mineral 22 Mín.		

Os resultados dos ensaios mostraram que os fluidos isolantes em acompanhamento permaneceram com valores dentro dos limites de norma para óleos isolantes vegetais e minerais. Para equipamentos com respiro direto para a atmosfera (religadores do projeto anterior), observou-se que os valores de tensão interfacial extrapolaram os limites de Norma durante o período de acompanhamento.

No projeto anterior esse fato teve pouca importância no desempenho das misturas em acompanhamento, visto que as características de teor de água e rigidez dielétrica, que definem as condições de isolamento interna do óleo dos equipamentos, se mantiveram dentro dos limites aceitáveis e sem riscos para a continuidade operativa dos mesmos.

c) Índice de Neutralização: mg KOH/g

Fluído Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	0,02	0,06	0,05	0,06	0,06
2) 75V25M	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
3) 100M	0,01	0,02	0,04	0,02	0,02
Valores de Norma	Óleo Vegetal 0,06 máx		Óleo Mineral 0,15 máx		

Sem comentários. Os resultados dos ensaios mostraram que os fluidos isolantes em acompanhamento permaneceram

com valores dentro dos limites de norma para óleos minerais e vegetais.

d) Teor de água corrigido a 20° C: mg/Kg = ppm.

Fluído Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	135,4	47,6	68,6	58,7	57,0
2) 75V25M	44,6	52,5	71,9	66,0	55,3
3) 100M	14,5	14,2	25,5	23,1	18,8
Valores de Norma	Óleo Vegetal 400 ppm máx		Óleo Mineral 25 ppm máx		

Os valores verificados nos ensaios para o teor de água nos fluidos isolantes estão dentro dos limites de Norma para óleos isolantes vegetais e minerais. Quando da coleta V2 o valor encontrado para o óleo mineral atingiu o limite de Norma, porém isso pode ter ocorrido por contaminação da amostra na coleta, visto que os valores encontrados para amostras posteriores estão dentro dos limites esperados.

e) Rigidez dielétrica: kV.

Fluído Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	34	59	51	61	64
2) 75V25M	44	51	60	51	61
3) 100M	49	57	51	59	63
Valores de Norma	Óleo Vegetal 30 mín NBR 42 mín IEC		Óleo Mineral 40 mín IEC		

Os valores de rigidez dielétrica obtidos nos ensaios estão dentro dos limites estabelecidos em Norma para óleos isolantes vegetais e minerais. Quando da inserção dos fluidos isolantes nos equipamentos, verificou-se que os valores de rigidez dielétrica se apresentaram reduzidos e abaixo dos valores obtidos em laboratório para tais fluidos. Isso se deve à quantidade de bolhas de ar presentes no fluído isolante quando do bombeamento para inserção no equipamento. Após algumas horas de descanso, grande parte das bolhas é eliminada e os fluidos isolantes retornam aos valores originais conseguidos em laboratório.

f) Fator de potência a 25° C: %.

Fluído Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	0,137	0,464	0,601	0,551	0,680
2) 75V25M	0,169	0,415	0,243	0,534	0,587
3) 100M	0,081	0,092	0,078	0,245	0,166
Valores de Norma	Óleo Vegetal 0,20 Max		Óleo Mineral 0,5 Max		

Nesse ensaio os valores de fator de potência registrados para misturas com óleos vegetais foram superiores aos previstos em Norma. Isso também foi observado nos equipamentos em que o óleo isolante permanece em contato com a atmosfera como no caso de religadores 15KV, avaliados em projeto anterior. Apesar dessa constatação, os valores obti-

dos nos ensaios de rigidez dielétrica do fluido isolante, e de teor de água contida no mesmo, mostram que tais fluidos isolantes permanecem em perfeitas condições para garantir o funcionamento dos equipamentos sem riscos operativos.

Dessa forma esses ensaios e seus procedimentos necessitam ser reavaliados em maior profundidade para o caso de utilização de óleos vegetais.

g) Fator de potência a 100° C: %

Fluido Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	2,49	7,95	9,53	10,06	11,11
2) 75V25M	2,74	7,22	7,42	7,19	8,21
3) 100M	1,74	1,90	1,76	1,74	1,95
Valores de Norma	Óleo Vegetal 4,0 max		Óleo Mineral 20 max		

Apesar dos valores obtidos nos ensaios estarem dentro dos limites previstos, aqui também ocorre o mesmo tipo de dúvida quanto à aderência dos resultados. Da mesma forma que citado no item anterior, esses ensaios também necessitam ser reavaliados e estudados.

h) Ponto de Fulgor: ° C

Fluido Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	296	160	157	157	160
2) 75V25M	287	210	196	196	198
3) 100M	160	150	150	146	148
Valores de Norma	Óleo Vegetal 275 Mín		Óleo Mineral 140 Mín		

Os resultados dos ensaios estão dentro dos limites de Norma para óleos isolantes vegetais e minerais. Quando da elaboração da mistura de óleo vegetal e mineral, o ponto de fulgor resultante tende inicialmente a se aproximar do valor característico do óleo vegetal. Após alguns dias a mistura se estabiliza e o valor do ponto de fulgor tende a se aproximar do valor do apresentado pelo fluido isolante presente em maior quantidade na mistura.

i) Viscosidade a 40° C: CsT.

Fluido Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	38,0	14,9	14,3	15,1	14,9
2) 75V25M	37,3	29,3	30,0	29,4	30,3
3) 100M	10,2	10,5	10,5	10,0	10,1
Valores de Norma	Óleo Vegetal 50 max		Óleo Mineral 11 max		

Os valores obtidos nos ensaios de viscosidade estão dentro dos limites previstos em Norma para óleos isolantes vegetais e minerais. Da mesma forma que o citado para o item anterior, verificou-se que a tendência nas misturas é de que o valor da viscosidade resultante esteja situado mais próximo do valor de viscosidade do fluido isolante inserido em maior quantidade na mesma.

j) Ponto de Fluidez: ° C.

Fluido Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	- 18,0	- 30	- 33	- 33	- 36
2) 75V25M	- 18,0	- 21,0	- 24,0	- 24,0	- 21
3) 100M	- 28	- 24	- 24	-27	- 27
Valores de Norma	Óleo Vegetal - 21		Óleo Mineral -10 Max		

Os valores obtidos nos ensaios de Ponto de Fluidez estão dentro dos limites previstos em Norma para óleos isolantes vegetais e minerais.

k) Contagem de Partículas: un.

Fluido Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	44.628	9.850	2.110	3.110	3.919
2) 75V25M	224.783	76.815	20.170	6.846	19.320
3) 100M	6.498	16.990	5.685	7.123	2.121
Valores de Norma	Óleo Vegetal Sem referências		Óleo Mineral Sem referências		

Não existem referências com relação a valores normatizados para contagem de partículas em fluidos isolantes de reguladores de tensão em utilização.

l) Contador de Comutações: un.

Fluido Isolante	V0 25/03/12	V1 17/08/12	V2 30/11/12	V3 27/05/13	Vf 05/09/13
1) 25V 75M	284.867	284.977	284.984	285.000	285024
2) 75V25M	132.383	135.274	138.270	145.675	150.063
3) 100M	308.966	311.295	313.618	318.771	321.970

O contador de operações do pólo 98615 (25V75M) apresentou problemas no registro do número de comutações, o que foi verificado e reparado quando da manutenção final em oficina.

A avaliação dos resultados obtidos mostra que não ocorreram variações significativas de características físico-químicas dos fluidos isolantes em acompanhamento, e que os valores verificados permaneceram dentro dos limites estabelecidos em Norma para óleos vegetais e minerais.

Durante o período de 17 meses em que os equipamentos estiveram em operação as variações de características físicas e químicas dos fluidos isolantes não foram significativas.

No projeto anterior, que estudou a inserção de misturas em religadores, variações de características começaram a ser percebidas após 12 meses de utilização e os fluidos isolantes somente necessitaram de substituição, quatro anos após a inserção.

Cabe lembrar que religadores possuem sistema de conservação de óleo, com respiro direto para a atmosfera, o que contribuiu para a degradação do fluido isolante, de forma mais rápida.

Já os reguladores de tensão não possuem respiro direto para a atmosfera, o que auxilia na preservação do fluido isolante.

Avaliação dos ensaios de gás cromatografia:

Não existem referências sobre quantidades de formação de gases no óleo isolante de reguladores de tensão.

Dessa forma as quantidades de gases gerados pelos Reguladores de tensão que utilizam misturas, serão relacionadas e comparadas com as quantidades emitidas pelo equipamento que utiliza apenas óleo mineral.

A seguir, planilhas com resultados dos ensaios de gás cromatografia V0 a Vf para os três pólos.

RT Toshiba HQMR – 25V75M Série E98615	V ₀ 25V75M 25/03/2012	V1 25V75M 17/08/2012	V2 25V75M 30/11/2012	V3 25V75M 27/05/2013	Vf 25V75M 05/09/2013
1- Hidrogênio - H ₂	13	125	258	761	898
2- Oxigênio - O ₂	910	2.195	1.160	2.596	2.279
3- Nitrogênio - N ₂	38.772	66.051	58.910	75.989	66.110
4- Metano - CH ₄	2	36	66	144	139
5- Monóxido de Carbono - CO	5	205	130	151	170
6- Dióxido de Carbono - CO ₂	51	1.391	993	2.179	1.715
7- Etileno - C ₂ H ₄	1	235	139	288	245
8- Etano - C ₂ H ₆	5	66	31	64	40
9- Acetileno - C ₂ H ₂	4	395	310	1.007	1.103
10- Total Combustíveis	30	1.062	934	2.415	2.595
11- Total Gases	39.763	70.699	61.997	83.179	72.699
12 - Vol Gás Extraído	1	1,8	1,6	2,3	1,8
13- Tx Cresc. GC%	0	702,04	-3,44	26,72	2,21
14- Relação CO ₂ /CO	10,2	6,79	7,64	14,43	10,09
15- Número de Comutações	284.867	284.977	284.984	285.000	285.024

Figura 11 – Gás cromatografia Pólo E 98615 - 25V75M

RT Toshiba – 75V25M Série E98617	V ₀ 75V25M 25/03/2012	V1 75V25M 17/08/2012	V2 75V25M 30/11/2012	V3 75V25M 27/05/2013	Vf 75V25M 05/09/2013
1- Hidrogênio - H ₂	55	225	392	920	1.110
2- Oxigênio - O ₂	1.055	1.678	909	1.179	2.333
3- Nitrogênio - N ₂	53.031	43.338	33.723	45.319	43.907
4- Metano - CH ₄	1	38	38	83	83
5- Monóxido de Carbono - CO	4	132	108	175	243
6- Dióxido de Carbono - CO ₂	39	1.414	952	1.673	1.567
7- Etileno - C ₂ H ₄	2	132	86	184	206
8- Etano - C ₂ H ₆	5	75	35	55	48
9- Acetileno - C ₂ H ₂	10	1.232	862	1.875	2.044
10- Total Combustíveis	77	1.834	1.521	3.292	3.734
11- Total Gases	54.202	48.264	37.105	51.463	51.541
12 - Vol Gás Extraído	1,5	1,3	1,1	1,3	1,3
13- Tx Cresc. GC%	0	465,68	-4,88	19,62	3,99
14- Relação CO ₂ /CO	9,75	10,71	8,81	9,56	6,45
15- Número de Comutações	132.383	135.274	138.270	145.675	150.063

Figura 12 – Gás cromatografia Pólo E 98617 - 75V25M

RT Toshiba HQMR – 100M Série E98625	V ₀ 100M 25/03/2012	V1 100M 17/08/2012	V2 100M 30/11/2012	V3 100M 27/05/2013	Vf 100M 05/09/2013
1- Hidrogênio - H ₂	146	290	472	863	1.093
2- Oxigênio - O ₂	12.146	15.338	16.510	14.273	9.365
3- Nitrogênio - N ₂	76.163	74.329	79.318	89.119	74.480
4- Metano - CH ₄	172	418	347	455	434
5- Monóxido de Carbono - CO	114	500	410	483	559
6- Dióxido de Carbono - CO ₂	2061	3.747	4.423	6.996	4.315
7- Etileno - C ₂ H ₄	420	1.361	879	1.244	1.121
8- Etano - C ₂ H ₆	36	129	72	115	83
9- Acetileno - C ₂ H ₂	2.250	5.522	4.435	5.627	4.597
10- Total Combustíveis	3.138	8.220	6.615	8.787	7.887
11- Total Gases	93.508	101.634	106.866	119.175	96.047
12 - Vol Gás Extraído	2,4	2,3	2,5	2,8	2,3
13- Tx Cresc. GC%	0	33,05	-5,58	5,53	-3,04
14- Relação CO ₂ /CO	18,08	7,49	10,79	14,48	7,72
15- Número de Comutações	308.966	311.295	313.618	318.771	321.970

Figura 13 – Gás cromatografia Pólo E 98625 – 100M

Observou-se durante o acompanhamento dos ensaios nos fluidos isolantes avaliados, que as quantidades de gases combustíveis presentes no óleo mineral, são bastante superiores às observadas nas misturas que possuem parte em óleo vegetal. Sabe-se que o óleo vegetal pode trabalhar em temperaturas mais elevadas que o óleo mineral, sem alterar suas características e isso pode explicar o fato da geração de menores quantidades de gases nas misturas, em relação às quantidades encontradas no óleo mineral puro, quando em operação.

Dessa forma a avaliação e determinação de defeitos incipientes em equipamentos elétricos, a partir de ensaios de cromatografia gasosa; necessitam ser reavaliadas e reestudadas para casos de utilização de misturas com óleo vegetal nesses equipamentos.

Abertura, inspeção e avaliação em oficina:

Os RTs em acompanhamento foram retirados de campo e levados à Oficina, onde foram ensaiados, abertos e inspecionados no período de 07 a 09/10/13.

Antes da abertura os três pólos foram submetidos a ensaios de resistência de isolamento, relação de transformação e resistência ôhmica entre contatos em todos os taps. Os resultados dos ensaios foram considerados muito bons, visto que os valores encontrados se mantiveram próximos dos obtidos nos ensaios iniciais, realizados há 17 meses atrás, quando da instalação em campo. Esses ensaios foram repetidos quando do fechamento dos pólos após a inspeção. Como não houve qualquer necessidade de correção ou manutenção interna, após o fechamento os resultados obtidos foram muito próximos dos encontrados antes da abertura.

Na abertura foram inspecionadas inicialmente as guarnições de borracha, a pintura interna e o bobinado, para verificação de eventuais danos originados pela utilização dos fluidos isolantes utilizados, não se constatando quaisquer anormalidades. Vedações, pintura interna e bobinados se encontravam impecáveis em todos os pólos.

A seguir foram inspecionados e examinados contatos e demais componentes internos.

Os contatos do pólo que continha somente óleo mineral apresentava coloração mais escura que os dos pólos que continham misturas. A coloração mais escura procedia da formação de película (resistiva) de produtos de decomposição do óleo mineral, por elevação de temperatura durante ocorrência de arcos elétricos entre contatos, quando das comutações.

Com o correr do tempo essa película tende a provocar o aumento da resistência ôhmica entre contatos.

Nos pólos que utilizavam misturas com óleo vegetal, não se percebeu a incidência dessa película isolante depositada sobre os contatos. A coloração dos contatos dos pólos que utilizavam misturas se assemelhava à de contatos novos, com melhor aparência para os contatos do pólo que utilizava mistura com maior quantidade de óleo vegetal (75V25M).

Com relação a desgaste dos contatos, o pólo que utilizava apenas óleo vegetal apresentou desgaste de contatos ligeiramente superior ao dos pólos que utilizavam misturas.

As fotos a seguir ilustram os resultados da inspeção interna.



Foto 7 – Vedações de borracha (tampa superior).



Foto11 – Contatos - Pólo com mistura 25V75M.



Foto 8 – Pintura interna.



Foto 12 – Contatos - Pólo com fluido isolante 100M.



Foto 9 – Bobinado.



Foto 10– Contatos - Pólo com mistura 75V25M.

IV – PRINCIPAL PRODUTO 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 reguladores de tensão e 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 refrigerante, com desempenho igual ou superior ao do óleo mineral tomado como padrão de referência. No projeto foram acompanhadas em campo as misturas 25V75M e 75V25M.

V - RESULTADOS ALCANÇADOS.

Foram desenvolvidas 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 plenamente aos requisitos exigidos para utilização em equipamentos elétricos.

Corroborando essa conclusão o fato de que os reguladores de tensão que receberam misturas não apresentaram qualquer indício de problemas em decorrência dessa utilização. Na inspeção interna ao final do projeto foi possível constatar o excelente estado de conservação dos componentes internos e da pintura e vedações que estiveram em contato direto com as misturas utilizadas. Não foram constatadas quaisquer necessidades de manutenção, substituição ou reparo de peças internas, visto que os desgastes foram mínimos.

Após a inspeção interna os equipamentos retornaram à operação em campo sem qualquer necessidade de intervenção corretiva.

VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

As misturas em avaliação foram totalmente aprovadas em seu período de acompanhamento para utilização em reguladores de tensão e também em outros equipamentos de classe 15 kV já avaliados anteriormente.

O óleo vegetal isolante mostrou ser um substituto realmente eficaz para o óleo mineral, com vantagens de suportar temperaturas mais elevadas e promover a esterificação do papel isolante interno de equipamentos elétricos, propiciando ganhos de potência sem necessidade de alteração de características de projeto.

Pelos resultados dos ensaios de laboratório e de outros projetos de P&D já encerrados sobre esse assunto, pode-se afirmar que as misturas de óleo vegetal e mineral são possíveis em quaisquer proporções desses dois componentes; e aplicáveis como meio isolante e de refrigeração em todos os equipamentos elétricos de classe 15 kV avaliados.

As avaliações internas nos reguladores de tensão acompanhados mostraram que as misturas contendo parte em óleo vegetal, apresentam melhor desempenho com relação a desgastes e alteração de características quando sujeitas a temperaturas mais elevadas, que o óleo mineral puro.

Foi observado pelos resultados de gás cromatografia, que o pólo do regulador que utilizou óleo mineral puro apresentou maior concentração de gases combustíveis que os pólos que utilizaram misturas. Isso se deve provavelmente ao poder de suportar temperaturas mais elevadas que o óleo vegetal transfere à mistura. Todavia esse é um aspecto que necessita ser estudado, visto que ensaios cromatográficos são utilizados para avaliar defeitos incipientes internos em equipamentos elétricos e as diferenças entre os valores encontrados, se não convenientemente esclarecidas, podem levar a falhas nessa avaliação.

Recomenda-se a continuidade do projeto, com acompanhamento dos equipamentos já monitorados por maior período de tempo, bem como com inserção de novos reguladores de tensão para acompanhamento, de forma a verificar o tempo que os fluidos isolantes suportam em condições normais, antes de começar a apresentar alterações significativas de características.

IV. 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]. Projeto P&D ANEEL /COSERN/CGTI/B&G código 040-08-2010 “Aplicação de Misturas de Fluidos Biodegradáveis com Óleo Mineral Isolante em disjuntores e Transformadores de Distribuição”, 2007/2010.
- [3]. L. O. Sales, I. M. Araújo; J. F. Santos Neto; J. Mak; F. Faria; L. L. Marques. “A Experiência da Cosern em inserção de óleo vegetal em equipamentos de transmissão.”, XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI 2012 – Rio de Janeiro – outubro/2012.
- [4]. COOPER POWER SYSTEMS. - Thin Film Oxidation - Reference Information R900-20-2 - Dez/2003.
- [5]. FIACCO, E. D. - Oxidation Stability in Dielectric Fluids - Revista Eletrobrasil – Cooper Power Systems.
- [6]. COOPER POWER SYSTEMS. - Oxidation/Polymerization of Envirotemp FR3 Fluid - FREQUENTLY ASKED QUESTIONS, Nov/2008.
- [7]. 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
- [8]. 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.
- [9]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 10710 (2006) – Líquido isolante elétrico - Determinação do teor de água.
- [10]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 60156 (2004) – Líquidos isolantes - Determinação da rigidez dielétrica à frequência industrial - Método de ensaio.
- [11]. 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.
- [12]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 11341 (2008) – Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland.
- [13]. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 15422 (2006) – Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos.
- [14]. Manual 2008 do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, Maio 2008; Agência Nacional de Energia Elétrica –ANEEL
- [15].11-01 RTecE1 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 01-02-00.
- [16].11-03 RTecE2 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 01-05-00.
- [17].11-06 RTecE3 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 01-10-00.
- [18].11-08 RTecE4 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 01-13-00.
- [19].11-10 RTecE5 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 01-16-00.
- [20].12-01 RTecE1 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 02-03-00.
- [21].12-03 RTecE2 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 02-04-01.
- [22].12-08 RTecE3 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 02-05-01.
- [23].12-09 RTecE4 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 02-06-00.
- [24].12-12 RTecE5 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 02-07-01.
- [25].13-06 RTecE1 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 03-01-01.
- [26].13-07 RTecE2 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 03-02-01.
- [27].13-10 RTecE3 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 03-03-01.
- [28].13-10 RTecE4 CGTI-COSERN PD 040 09 2010 Misturas Reguladores Tensão 15 kV 03-04-01.
- [29].MGM Óleos Isolantes, Relatório nº00X/2011.
- [30].UNICAMP Óleos Isolantes, Relatório nº00X/11,12,13.
- [31].LABOIL Laudos de Análises, Relatório nº00X11,12,13.