

Avaliação da compatibilidade de óleos vegetais isolantes com materiais internos do transformador

Helena M. Wilhelm

Mineraltec

helenaw@mineraltec.com.br

Vinicius Franch

**Programa de pós-graduação
em engenharia de materiais
da UFPR**

vinicius.franch@lactec.org.br

Luciane Tulio

Lactec

luciane@lactec.org.br

Suely M. de Oliveira

Lactec

suely@lactec.org.br

Alberto Franck

Copel

franck@copel.com

Palavras-chave

BIOVOLT A

Compatibilidade

Materiais internos

Óleo vegetal isolante

Transformador

Resumo

Neste trabalho foram avaliadas as compatibilidades do óleo mineral isolante (OMI) e de dois tipos de óleos vegetais isolantes (OVIs), ENVIROTEMP FR3^{TM®} e BIOVOLT A[®], com materiais internos do transformador como tinta, papel, aço silício e borrachas (nitrílica, fluorsilicone e bolsa Pronal). A realização dos ensaios foi baseada no procedimento de preparo das amostras descrito na norma ABNT NBR 14274, que descreve o ensaio de compatibilidade especificamente para OMI, alterando-se apenas o tempo de borbulhamento do gás nitrogênio de 2 para 10 minutos. Após os ensaios de compatibilidade foram analisados nos OVIs o índice de neutralização, o fator de perdas dielétricas e a viscosidade cinemática. Para avaliar o efeito do óleo na integridade das borrachas nitrílica e fluorsilicone, foi realizado o ensaio de resistência química nesses materiais. A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar a variação dos principais parâmetros físico-químicos do OVI após o ensaio de compatibilidade com materiais internos do transformador. Também foi analisada a existência de correlação entre os resultados de compatibilidade com os de resistência química para as borrachas de fluorsilicone e nitrílica.

Introdução

Há um século o óleo mineral isolante (OMI), proveniente do refino do petróleo, tem sido utilizado como líquido isolante em transformadores. Vários bilhões de litros de óleo estão em uso em equipamentos elétricos pelo mundo. A disponibilidade e o baixo custo do OMI o tornaram bastante popular, além de ser um excelente meio de isolamento e de resfriamento. No entanto, este fluido tem apresentado alguns problemas durante sua utilização como a ocorrência de falhas em reatores devido à presença de enxofre corrosivo e a contaminação de solo e de sistemas hídricos, no caso de vazamentos/derramamentos, em virtude de seu lento processo de biodegradação. As agências regulatórias do governo impõem altas penalidades às empresas quando ocorrem estes acidentes. Além do pagamento de multas, as empresas precisam adotar medidas para remediar os sistemas impactados, que geralmente, são baseadas em processos bastante onerosos.

Fluidos isolantes sintéticos biodegradáveis foram introduzidos no mercado na segunda metade do século 20, mas não tiveram seu uso consolidado no setor elétrico brasileiro devido ao seu alto custo. Na década de 90, uma nova classe de fluidos isolantes de origem vegetal, obtida a partir de ésteres naturais, foi desenvolvida para uso em transformadores. Além da característica biodegradável, os óleos vegetais isolantes (OVIs) são obtidos a partir de fontes renováveis. Vários estudos, visando o desenvolvimento de fluidos isolantes, tem sido publicados na literatura, como o desenvolvido por Wilhelm e colaboradores (2009), que investigaram diferentes óleos vegetais de origem nacional como potenciais matérias primas para produção de OVIs.

Quando da concepção de um transformador novo, testes de compatibilidade do fluido isolante com materiais internos do equipamento são realizados pelos fabricantes e exigidos pelos seus clientes. Este ensaio é normatizado pela ABNT para o OMI. No entanto, ainda não existe norma internacional e nacional específica para o óleo vegetal isolante (OVI). Este ensaio é importante porque a incompatibilidade do fluido isolante com elastômeros, por exemplo, utilizados em vedações e gaxetas, pode originar vazamentos do fluido isolante no equipamento. Portanto, a compatibilidade destes dois materiais é fundamental para garantir a estanqueidade do equipamento e a minimização de impactos ambientais decorrentes de vazamentos.

O procedimento para avaliar a compatibilidade de um material com OMI, segundo a norma ABNT NBR 14274, consiste na comparação dos resultados obtidos no óleo contendo a amostra do material em teste com os encontrados na prova em branco (óleo puro, sem material). As variações sugeridas nessa norma entre os resultados do óleo da prova em branco e do óleo com os materiais para o OMI estão apresentadas na Tabela 1. Variações inferiores nos parâmetros físico-químicos entre a amostra do OMI contendo o material e a prova em branco em relação as reportadas na Tabela 1, indicam que o óleo não foi afetado pelo material, ou seja, que o material testado é compatível com o fluido, e que este material é considerado apto para exames posteriores. Uma variação em qualquer um dos parâmetros citados na Tabela 1, que ultrapasse os limites definidos na norma, pode indicar algum problema de compatibilidade, então o material

testado deverá ser reavaliado ou rejeitado. Por outro lado, se por ventura o envelhecimento da prova em branco exceder algum dos limites sugeridos na Tabela 2, o óleo é suspeito para utilização, devendo ser investigados possíveis contaminações no óleo e a possibilidade da temperatura ter excedido o valor estipulado para o ensaio (ABNT 14274).

Tabela 1. Valores sugeridos na ABNT NBR 14274 para a variação entre os resultados físico-químicos do OMI com o material e o OMI da prova em branco.

Parâmetro Físico-químico monitorado	Varição permitida
Fator de perdas dielétricas a 90 °C	Aumento de 0,5%
Tensão interfacial	Diminuição de 5 mN/m
Índice de neutralização	Aumento de 0,02 mg KOH/g
Cor	Aumento de 0,5

Tabela 2. Valores limites sugeridos na ABNT NBR 14274 para o óleo da prova em branco envelhecido.

Parâmetro Físico-químico monitorado	Valor limite
Fator de perdas dielétricas a 90 °C	Máximo de 1,1%
Tensão interfacial	Mínimo de 38 mN/m
Índice de neutralização	Aumento máximo de 0,03 mg KOH/g
Cor	Aumento máximo de 0,5

Os primeiros resultados sobre compatibilidade de materiais internos do transformador com OVI foram publicados em 2006 por Uhren, que sugeriu em sua dissertação de mestrado, a elaboração de uma norma específica para OVI (Uhren, 2006).

Os resultados apresentados neste trabalho fazem parte da dissertação de mestrado do aluno Vinicius Franch. Esta dissertação é o principal produto resultante do projeto de P&D 2866-003/2006, da Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Esses resultados também foram apresentados e discutidos na FT-02 da D1.01 do CIGRÉ e na comissão de estudos CE 03.10.2 do COBEI (Comitê Brasileiro de Eletricidade), que está preparando um projeto de norma para o ensaio de compatibilidade de materiais internos do transformador com OVI (Wilhelm & Tulio, 2009).

Objetivos

Realizar ensaios de compatibilidade de materiais internos do transformador com OVIs visando a análise dos principais parâmetros físico-químicos do OVI da prova em branco (sem material) em relação ao óleo novo e, da variação destes parâmetros entre o OVI envelhecido na presença do material e a prova em branco.

Realizar ensaios de resistência química das borrachas de fluorsilicone e nitrílica com OMI e OVIs visando a correlação dos resultados obtidos com os obtidos para os ensaios de compatibilidade.

Metodologia

O BIOVOLT A[®] foi adquirido da empresa MINERALTEC e o ENVIROTEMP FR3TM da COOPER POWER SYSTEMS do BRASIL. O OMI usado foi o AV 61-IN adquirido da PETROBRÁS. Os materiais internos testados nos ensaios de compatibilidade, como papel Kraft, aço silício, tinta e borrachas (nitrílica, fluorsilicone e bolsa da Pronal) foram adquiridos de diferentes fabricantes.

Inicialmente os OVIs, que foram usados conforme recebidos, foram caracterizados antes da realização dos ensaios de compatibilidade por meio dos ensaios descritos na norma ABNT NBR 15422. O OMI foi caracterizado a partir dos ensaios descritos na resolução ANP 25 de 09.09.2005.

Para os ensaios de compatibilidade, os materiais testados foram secos em estufa, a 105 °C, por 16 horas. Após este período foram retirados da estufa e dispostos em dessecador para resfriamento a temperatura ambiente. Os materiais secos foram imersos nos fluidos isolantes, em frascos de boca larga (capacidade de 1000 mL), com tampa esmerilhada.

Foram utilizadas as seguintes condições e proporções entre os materiais testados e o fluido isolante, baseado na norma ABNT NBR 14274, parte B:

- prova em branco (somente o óleo): 800 mL de OVI;
- papel Kraft: 52 cm² em 800 mL de OVI;
- aço silício: 6200 cm² em 800 mL de OVI;
- tinta: 1300 cm² de placas pintadas com a tinta teste em 800 mL de OVI;
- borrachas (nitrílica, fluorsilicone e Pronal): 65 cm² em 800 mL de OVI.

Na seqüência, foi borbulhado gás nitrogênio (grau de pureza 4.6), durante 10 min a uma vazão mínima de 1 L.min⁻¹, em cada frasco contendo o material teste, utilizando uma pipeta. O mesmo procedimento foi adotado para frascos contendo apenas os óleos isolantes, sem material, denominados neste trabalho de prova em branco. Todos os frascos devidamente fechados foram levados a estufa, a 100 °C, por 164 h. Depois deste período, os frascos foram retirados da estufa e condicionados a temperatura ambiente, sendo realizados os seguintes ensaios nos OVIs: índice de neutralização (ABNT NBR 14248); fator de perdas dielétricas a 90 °C (ABNT NBR 12133); e viscosidade a 40 °C (ABNT NBR 10441). Para o OMI foram realizados os seguintes ensaios: índice de neutralização (ABNT NBR 14248); fator de perdas dielétricas a 90 °C (ABNT NBR 12133); e tensão interfacial (ABNT NBR 6234).

No caso das borrachas, também foram realizados ensaios de resistência química com os diferentes fluidos isolantes testados, segundo o procedimento descrito na norma ABNT NBR 11407.

Resultados e discussão

As propriedades determinadas para os OVIs novos estavam em conformidade com a especificação contida na norma ABNT NBR 15422 e os resultados obtidos para o OMI novo atenderam a resolução ANP 25 de 09.09.2005. Comparados ao OMI, os OVIs apresentaram maior ponto de fulgor, em torno de 310 °C, razão pela qual são considerados fluidos de segurança; viscosidade aproximadamente 4 vezes superior e teor de umidade também superior, explicado pela natureza polar dos óleos vegetais, conforme discutido por Wilhelm e colaboradores (Wilhelm, Tulio & Uhren, 2009).

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos para as provas em branco dos OVIs envelhecidos. Foram observadas variações na viscosidade e no fator de perdas dielétricas. No entanto, essas variações observadas estão dentro do erro de repetibilidade dos métodos de ensaio.

Tabela 3. Variação média obtida para os OVIs das provas em branco envelhecidos em relação ao óleo novo recebido.

Parâmetro Físico-químico	BIOVOLT A	ENVIROTEMP FR3
Índice de neutralização	Sem variação	Sem variação
Viscosidade cinemática a 40 °C	0,33 cSt	0,20 cSt
Fator de perdas dielétricas a 90 °C	Sem variação	0,15%

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos para os ensaios de compatibilidade do OMI com aço silício, papel Kraft, tinta e borrachas (nitrílica, fluorsilicone e bolsa Pronal). Analisando a variação da amostra com o óleo da prova em branco e, comparando-a com os valores sugeridos na Tabela 1, pode-se concluir que apenas o papel e o aço silício não apresentaram problemas de compatibilidade. Os demais materiais, tinta e borrachas, deveriam ser rejeitadas para o OMI. Os resultados da Tabela 4 mostram também que a tensão interfacial foi o parâmetro que definiu a incompatibilidade em 100% dos casos (tinta e borrachas). O fator de perdas dielétricas contribuiu em 50% dos diagnósticos, mais especificamente para as borrachas de fluorsilicone e bolsa Pronal. A escolha destes materiais (papel Kraft, aço silício, tintas e borrachas), compatíveis e incompatíveis com OMI, para dar continuidade ao estudo de compatibilidade com os OVIs foi proposital, justamente para que a resposta desses materiais, pudesse ser analisada e comparada com os resultados obtidos para o OMI.

Tabela 4. Variação observada entre os resultados do OMI da prova em branco e do OMI com os materiais testados neste estudo.

Material testado	VARIÇÃO ENTRE (AMOSTRA – PROVA EM BRANCO)			Análise segundo a ABNT NBR 14274
	Tensão interfacial (mN/m)	Índice de neutralização (mg KOH/g)	Fator de perdas dielétricas (%)	
Papel Kraft	0,4	0	0,15	Compatível
Aço silício	0,8	0	0,01	Compatível
Tinta	-20,7	0	0,15	Incompatível
Fluorsilicone	-18,4	0	7,57	Incompatível
Nitrílica	-7,2	0	0,07	Incompatível
Bolsa Pronal	-25,5	0	7,77	Incompatível

Nas Figuras 1-4 estão apresentados os resultados comparativos obtidos para os ensaios de compatibilidade dos diferentes fluidos isolantes (OVIs e OMI) com aço silício, papel Kraft, tinta e borrachas (nitrílica, fluorsilicone e bolsa Pronal).

Analisando o índice de neutralização dos óleos envelhecidos na presença dos diferentes materiais (Figura 1-A), é possível verificar que este parâmetro não foi afetado pela presença do material quando comparado com o índice de neutralização do óleo sem o material (prova em branco).

Considerando o valor limite da variação para o índice de neutralização do óleo na presença do material menos a prova em branco, que corresponde a um aumento de $0,02 \text{ mg KOH.g}^{-1}$ (Tabela 1), todos os materiais testados podem ser considerados compatíveis com os diferentes óleos utilizados, pois as variações observadas nos ensaios realizados foram inferiores a este valor limite (Figura 1-B).

O fator de perdas dielétricas a $90 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 2-A) para os 3 tipos de óleo testados variou significativamente na presença das borrachas de fluorsilicone e bolsa Pronal, na seguinte ordem: OMI > Envirotemp FR3 > Biovolt A.

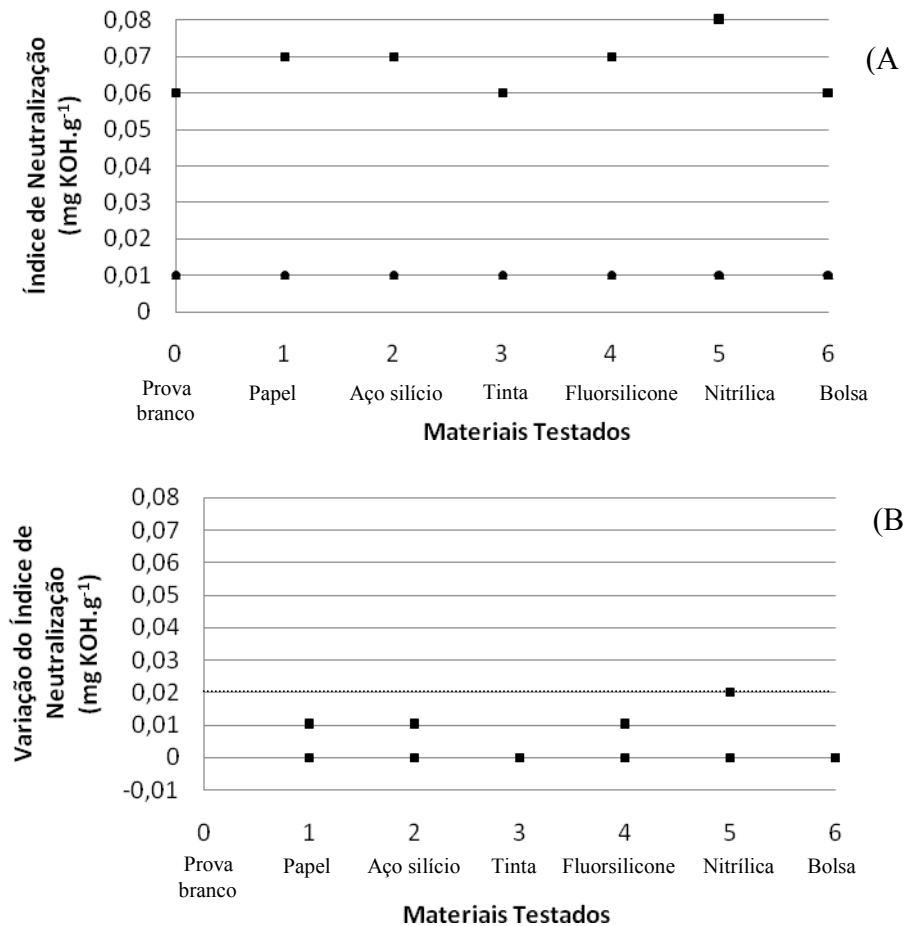


Figura 1. Efeito dos diferentes materiais testados sobre o (A) índice de neutralização dos óleos isolantes (●) Biovolt A, (■) Envirotemp FR3 e (▲) OMI. (B) Diferença entre o índice de neutralização do óleo na presença do material e da prova em branco (óleo sem material). A linha pontilhada corresponde à variação limite especificada na norma ABNT NBR 14274, para o OMI.

Considerando a variação máxima sugerida para o fator de perdas dielétricas a 90 °C, aumento máximo de 0,50% (Tabela 1), a bolsa Pronal e a borracha fluorsilicone podem ser consideradas incompatíveis com o OMI (Figura 2-B), conforme apresentado na Tabela 4. Considerando essa mesma variação para os OVIs analisados, apenas o papel e o aço silício poderiam ser considerados compatíveis com ambos os OVIs. A análise da compatibilidade dos materiais a partir do fator de perdas dielétricas dos OVIs está de acordo com a observada para o OMI (Tabela 4) obtida a partir da tensão interfacial.

Esses resultados encontrados para os materiais testados com os OVIs indicam duas condições: 1) os materiais testados de fato afetam negativamente o fator de perdas dielétricas a 90 °C dos OVIs; 2) a variação máxima considerada para o OMI na norma ABNT NBR 14274 não se aplica aos OVIs, devendo portanto, ser revisada e proposta uma variação específica do fator de perdas dielétricas para o ensaio de compatibilidade com fluidos vegetais.

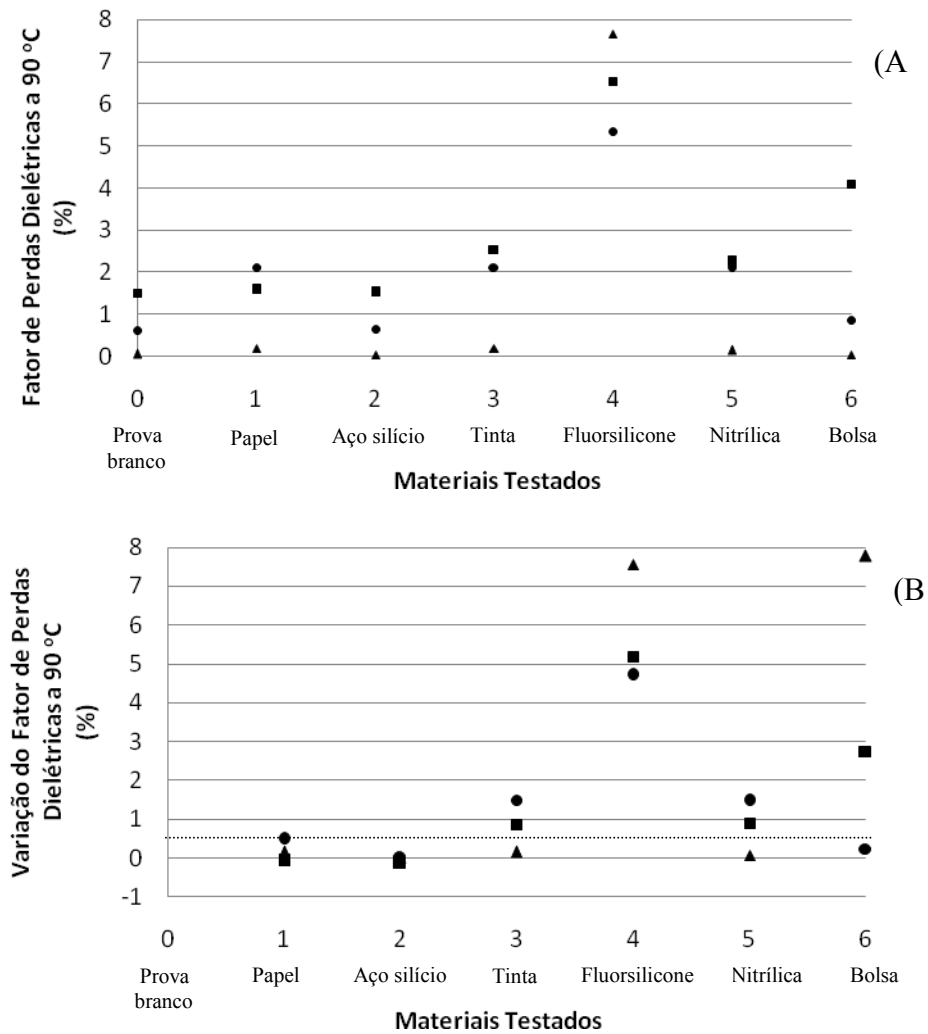


Figura 2. Efeito dos diferentes materiais testados sobre o (A) fator de perdas dielétricas a 90 °C dos óleos isolantes (●) Biovolt A, (■) Envirotamp FR3 e (▲) OMI. (B) Diferença entre o fator de perdas dielétricas do óleo na presença do material e da prova em branco (óleo sem material). A linha pontilhada corresponde à variação máxima sugerida para o OMI (ABNT NBR 14274).

A Figura 3-A apresenta os resultados obtidos para a viscosidade cinemática a 40 °C para as amostras dos OVIs envelhecidas na presença dos diferentes materiais. A norma ABNT NBR 14274 não apresenta variação limite para a viscosidade, ou seja, a viscosidade não é parâmetro indicador de compatibilidade para os ensaios com OMI.

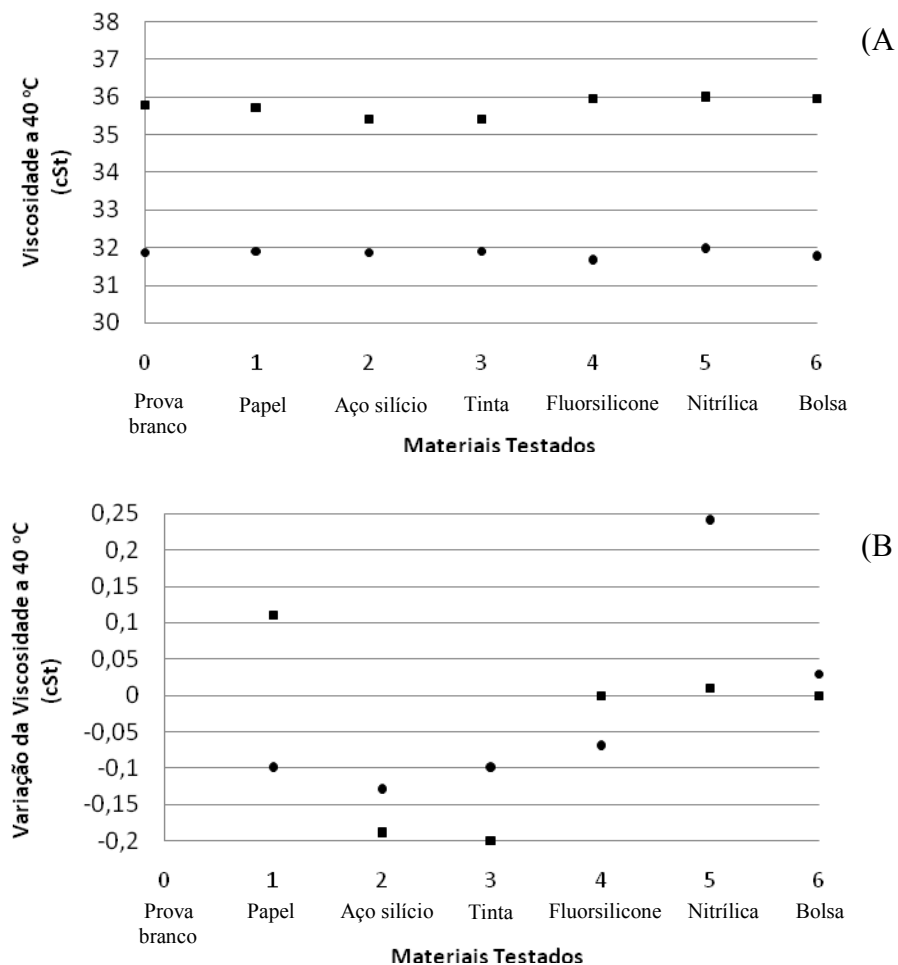


Figura 3. Efeito dos diferentes materiais testados sobre a (A) viscosidade cinemática a 40 °C dos óleos isolantes (●) Biovolt A, (■) Envirotemp FR3 e (▲) OMI. (B) Diferença entre a viscosidade cinemática a 40 °C do óleo na presença do material e da prova em branco (óleo sem material).

Observando os resultados obtidos para a viscosidade, percebe-se que não houve variação significativa neste parâmetro nos diferentes ensaios realizados, pois as pequenas variações observadas, tanto na Figura 3-A quanto na Figura 3-B, estão dentro do erro de repetibilidade do método utilizado (ABNT NBR 10441), que corresponde a 0,35% do valor médio obtido. Esses resultados mostram que nenhum dos materiais testados afetou a viscosidade dos OVIs, indicando duas possibilidades: 1) todos os materiais são compatíveis com os OVIs analisados; 2) a medição da viscosidade pode não ser um parâmetro adequado quando se pretende avaliar a compatibilidade de um material em relação a outro. Por outro lado, quando um material causar um aumento na viscosidade do OVI não significa que o material é incompatível com o óleo, mas sim, que a possibilidade de entrada de oxigênio no frasco deve ser investigada. O oxigênio é um dos agentes causadores da oxidação do OVI óleo e como os produtos de oxidação reagem entre si formando compostos de elevada massa molar, é possível observar um aumento na viscosidade do fluido em decorrência disto (Wilhelm et al., 2006; Wilhelm et al., 2007; Tulio, 2008).

Neste trabalho também foram realizados ensaios de avaliação da resistência química das borrachas de fluorsilicone e nitrílica aos OVIs e OMI, cujos resultados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Ensaios de resistência química da borracha nitrílica e de fluorsilicone ao OMI e OVIs.

Envelhecimento em óleo isolante após 70h à 125°C (ABNT NBR 11407)					
Borracha	Propriedade/ Característica	Especificação	OMI	BIOVOLT A	ENVIROTEMP FR3
Nitrílica	Variação de dureza Shore A ABNT NBR 7318	± 10 pts	-4	-1	-1
	Variação de volume ABNT NBR11407	0 a + 15 %	7,7	1,2	6,7
	Variação de tensão ABNT NBR 7462	- 15 %	-25	-32	-50
	Variação de alongamento ABNT NBR 7462	- 30%	-43	-40	-48
	Fissuras	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fluor-silicone	Variação de dureza Shore A ABNT NBR 7318	± 10 pts	+3	+1	+1
	Variação de volume ABNT NBR11407	0 a + 15 %	1,1	1,1	1,6
	Variação de tensão ABNT NBR 7462	- 15 %	+30	-7	-11
	Variação de alongamento ABNT NBR 7462	- 30%	-4	-13	-10
	Fissuras	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Considerando o ensaio de resistência química ao fluido, pode-se observar que as borrachas nitrílicas e de fluorsilicone não apresentaram variações nos ensaios de dureza e de volume (Tabela 5). Porém, a partir dos resultados dos ensaios mecânicos (variação de tensão e de alongamento) mostrados na Tabela 5, pode-se concluir que a borracha nitrílica e a de fluorsilicone analisadas não apresentaram desempenhos satisfatórios para o ensaio com OMI. Estes resultados estão de acordo com os reportados na Tabela 4, onde os materiais foram classificados como incompatíveis com o OMI. Da mesma forma para os OVIs, a borracha nitrílica não apresentou resultados satisfatórios para as propriedades mecânicas de tensão e de alongamento, o que poderia justificar a variação superior a 0,5% observada no fator de perdas dielétricas reportado na Figura 2B. Por outro lado, considerando os ensaios de resistência química na borracha de fluorsilicone, os resultados obtidos foram satisfatórios para os OVIs testados, embora este material tenha promovido as maiores variações no fator de perdas dielétricas nestes óleos, conforme apresentado na Figura 2-B.

Conclusões

Em relação às provas em branco dos OVIs envelhecidos não foram observadas variações significativas no índice de neutralização, no fator de perdas dielétricas e na viscosidade cinemática em relação aos óleos novos.

Os OVIs investigados neste estudo apresentaram comportamentos semelhantes frente aos diferentes materiais testados. O fator de perdas dielétricas a 90 °C foi o único parâmetro que apresentou variações significativas para ambos os OVIs, principalmente para a borracha de fluorsilicone (em torno de 5%).

Os ensaios de resistência química apresentaram as borrachas nitrílica e de fluorsilicone, testadas neste estudo, como inadequadas para o uso com OMI, em concordância com os ensaios de compatibilidade destes materiais neste fluido.

Não foi possível correlacionar os ensaios de resistência química das borrachas nitrílica e de fluorsilicone com os de compatibilidade para os OVIs analisados neste estudo. A borracha de fluorsilicone que apresentou as maiores variações para o fator de perdas dielétricas no ensaio de compatibilidade, apresentou, para ambos os OVIs, desempenho satisfatório no ensaio de resistência química, enquanto que a nitrílica, que apresentou menores variações no fator de perdas dielétricas em relação a de fluorsilicone, apresentou resultados insatisfatórios no ensaio de resistência química.

Estudos adicionais precisam ser realizados para elucidar o efeito do aumento do fator de perdas dielétricas quando em contato com borrachas do tipo fluorsilicone e bolsa Pronal e, a relação entre os resultados de compatibilidade com os ensaios de resistência química.

Referências bibliográficas

- ABNT NBR 6234. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Óleo-água - Determinação de tensão interfacial. 1965.
- ABNT NBR 10441. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Produtos de petróleo - Líquidos transparentes e opacos - Determinação da viscosidade cinemática e cálculo da viscosidade dinâmica. 2007.
- ABNT NBR 11407. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Elastômero vulcanizado - Determinação das alterações das propriedades físicas, por efeito de imersão em líquidos. 1990.
- ABNT NBR 12133. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Líquidos isolantes elétricos - Determinação de fator de perdas dielétricas e da permissividade relativa (constante dielétrica). 1991.

- ABNT NBR 14248. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Produtos de petróleo - Determinação do número de acidez e de basicidade - Método do indicador. 2004.
- ABNT NBR 14274. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Equipamento elétrico - Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo mineral isolante. 1999.
- ABNT NBR 15422. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Óleos vegetais isolantes para equipamentos elétricos – Especificação. 2006.
- TULIO, L. Estudo do envelhecimento acelerado de óleo vegetal isolante estudo em escala laboratorial. PRODETEC, p. 123, 2008.
- UHREN, W. Aplicação de óleo vegetal como meio isolante em equipamentos elétricos, em substituição ao óleo mineral isolante. Curitiba, 2007. 123 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante - PRODETEC) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná.
- WILHELM, H. M., TULIO, L., UHREN, W. Produção e uso de óleos vegetais isolantes no setor elétrico. Brasil Engenharia. São Paulo - Brasil, v.592, p.120 - 124, 2009.
- WILHELM, H. M., TULIO, L. Normalização do óleo vegetal isolante no Brasil. XX SNPTEE, realizado em 11/2009, Recife, PE.
- WILHELM, H. M., STOCCO, M. B. C., OLIVERA, J. de, UHREN, Wilson, GOMES JÚNIOR, Silas B. Investigação de óleos vegetais como potenciais fluidos de segurança. Revista Eletricidade Moderna. www.arandanet.com.br, p.140 - 147, 2009.
- WILHELM, H. M., GRANATO, R. C., TULIO, L., BATISTA, D. A., STOCCO, G. B., SABEC, D., OLIVEIRA, J., UHREN, W., JASINSKI, R., NUNO G. ADONIS, N. G., JÚNIOR, S. B. G. Desempenho de óleo vegetal isolante frente ao envelhecimento acelerado. Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica realizado em Outubro de 2007.
- WILHELM, H. M., GRANATO, R. C., TULIO, L., STOCCO, G. B., RAVAGLIO M. A., BATISTA, D. A., MATTOSO, M., TRINDADE, E. M., UHREN, W., JÚNIOR, S. B. G., ADONIS, N. G. Aspectos relacionados com a utilização de óleo vegetal isolante no Brasil. Anais do IV International Workshop on Power Transformer (IV WORKSPOT). Abril 2006, 9p.

Agradecimentos

LACTEC, COPEL, ANEEL, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PIPE) da UFPR e CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa (DT) concedida para a pesquisadora Helena M. Wilhelm.