

# Método de Avaliação de Desempenho de Bolsas para Sistemas de Preservação de Transformadores de Potência.

Gilcinea Rangel Pessenti, LIGHT - Rio de Janeiro - RJ  
 Flávio Faria, Quantum Tecnologia e Inovação - Rio Claro - SP e  
 José Mak, B&M Pesquisa e Desenvolvimento - Campinas - SP.

**Resumo** - As bolsas ou membranas de elastômeros, dos sistemas de preservação de transformadores de potência, introduzidas há cerca de 25 anos como solução para o respiro a sílica-gel, têm baixo desempenho em serviço, sendo permeáveis em demasia e / ou degradáveis pelo próprio óleo isolante, a quem deveriam proteger, além de terem vida útil estimada em torno de dez anos, o que é muito inferior à do transformador.

Além disso, a vida útil do transformador pode ser reduzida, no mínimo pela metade, em razão de falha da membrana e conseqüente contaminação do óleo por agentes de degradação vindos da atmosfera.

Com o surgimento de novos materiais os fabricantes dessas bolsas introduziram modificações na composição das mesmas visando torná-las mais resistentes a esforços mecânicos, mais impermeáveis a gases e líquidos e mais leves para facilitar o manuseio.

O método de avaliação descrito a seguir visa verificar o desempenho das novas bolsas ofertadas, com relação à impermeabilidade a gases e líquidos (água).

**Palavras-chave** – Água – Óleo Isolante – Oxigênio – Preservação – Transformadores de Potência.

## I. INTRODUÇÃO

Em vista da imensa população de transformadores que vêm operando nas concessionárias de energia elétrica por períodos de tempo já entre 25 e 40 anos, calcula-se que nos próximos anos muitas dessas unidades deverão apresentar falhas devido ao término de sua vida útil.

Devido à idade dessa grande maioria de transformadores, a frequência dessas falhas deverá aumentar significativamente nos próximos anos, podendo levar a sobrecargas de serviços nas empresas fornecedoras / reparadoras desses equipamentos, que serão insuficientes para atender à demanda esperada.

Dessa forma, as concessionárias de energia elétrica deverão estar preparadas, para estender ao máximo possível, a vida útil desses transformadores; de forma a ganhar tempo para adquirir novas unidades ou reparar unidades falhadas ou em final de vida útil.

Aparentemente, após longo período em operação a condição do isolamento do transformador sofre alterações significativas.

Experiências com avaliação de condições de transformadores de potência de 110-500 kV demonstraram [1] que após 25-30 anos, em média cada transformador apresenta perto de 3 defeitos latentes no tanque principal e 47% dos defeitos foram atribuídos à efeitos adversos nas

condições do isolamento devidos a contaminação por presença de água, partículas e produtos de envelhecimento de óleos.

Por outro lado, estatísticas de falhas mostram [2] que uma taxa elevada estável (15-20%) de falhas, pode ser atribuída a prejuízos nas condições dos isolamentos principais e secundários (maior e menor), em especial devidos à redução da capacidade de tolerar pulsos.

Assim, a recuperação da “vida do dielétrico” de transformadores, poderia ser vista como meio eficiente de evitar falhas inesperadas e prolongar a vida desses equipamentos.

A umidade (água), a presença de oxigênio e as variações de temperatura; são os principais agentes de aceleração do processo de envelhecimento dos transformadores quanto à deterioração do óleo isolante e envelhecimento do isolamento sólido (papel isolante) [17].

A grande maioria (80%) dos transformadores de potência, hoje em operação nas concessionárias de energia elétrica é dotada de dispositivo de preservação do óleo isolante a sistema aberto (respiro através de filtro de sílica gel) ou a sistema selado através de bolsa ou membrana.

Nos sistemas abertos, o óleo isolante do transformador é saturado pelo oxigênio do ar atmosférico e principalmente em locais quentes e úmidos a eficiência dos filtros de sílica gel de seus conservadores fica comprometida, permitindo que boa parte da umidade atmosférica penetre no transformador, contaminando tanto o óleo quanto o papel isolante do isolamento sólido.

Nos sistemas selados a bolsa ou membrana, o óleo isolante não tem contato direto com o ar atmosférico, e as paredes da bolsa ou membrana utilizada fazem a interface entre esses dois meios.

O material componente das bolsas (composição de borracha nitrílica) é permeável aos gases atmosféricos, permitindo a entrada de parte desses gases (oxigênio e nitrogênio) no interior do transformador.

O Oxigênio em composição com a umidade remanescente do papel isolante proporciona condições de acelerar o processo de envelhecimento da isolação sólida e a oxidação do óleo isolante.

Com a inserção de novos materiais entremeados na composição das bolsas, os fabricantes procuraram resolver os problemas apresentados por estes dispositivos e o método de avaliação apresentado a seguir, visa verificar o

desempenho dessas bolsas com relação à impermeabilidade a gases e líquidos (água).

## II. FORMA DE AVALIAÇÃO PROPOSTA.

Para avaliação do desempenho das novas bolsas (adquiridas de fabricantes nacionais A e B), com relação à impermeabilidade a gases e líquidos, decidiu-se instalá-las em transformadores de potência em operação, visto que as condições reais de operação no campo seriam praticamente impossíveis de simular em laboratório.

Após instalação das novas bolsas esses transformadores foram desgaseificados até que os níveis de Oxigênio e Nitrogênio dissolvidos no óleo mineral isolante atingissem valores relativamente baixos (afastados dos pontos de saturação) e razoavelmente equalizados entre todas as unidades sob pesquisa.

Os valores de concentração desses gases, obtidos no final do período de desgaseificação, foram tomados como ponto de partida para verificação da evolução dos mesmos num determinado período de avaliação.

A avaliação da evolução foi obtida através dos resultados de análises cromatográficas desses gases, em amostras coletadas quinzenalmente nos transformadores sob ensaio.

Para visualização dos resultados, os valores obtidos foram plotados em gráficos de acompanhamento após cada laudo recebido.

O gás Oxigênio foi tomado como referência nos ensaios devido possuir a menor molécula entre os contaminantes ( $O_2$ ,  $N_2$  e  $H_2O$ ) pesquisados e também devido não ser gerado internamente ao transformador quando de suas reações em operação.

Dessa forma, se a bolsa impedir a passagem do Oxigênio, com mais razão impedirá a passagem de componentes com moléculas maiores.

Não foi possível estabelecer meios de acompanhar a evolução de umidade no óleo isolante, visto que as reações internas do transformador liberam água durante o processo de envelhecimento do isolamento sólido.

Durante o estudo foi acompanhada a evolução das concentrações do gás Nitrogênio (também presente no ar atmosférico) no óleo; porém tal acompanhamento serviu apenas como referência para balizar os resultados obtidos para o gás Oxigênio.

## III. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.

A seguir são relatadas as etapas executadas e as principais dificuldades encontradas na execução do projeto; bem como resultados obtidos e recomendações e conclusões do estudo.

### A. Etapas.

Inicialmente decidiu-se por projeto piloto envolvendo cinco unidades de transformadores para realização do estudo.

Os transformadores selecionados se situavam em uma única subestação, procediam do mesmo fabricante, possuíam mesmas características construtivas e números de série e datas de fabricação próximas.

Tais transformadores eram dotados de sistema de preservação aberto (respiro a sílica gel), sendo necessário substituí-lo por sistema fechado (selado através de bolsa).

Dessa forma foi necessário contatar o fabricante para elaboração de novo projeto para o tanque conservador e para a bolsa interna, bem como para proceder adaptações necessárias à mudança de sistema.

Para definição dos projetos foram medidas e confirmadas no campo, em diversas ocasiões, as distâncias reais dos pontos de acoplamento do sistema a ser substituído.

Essas medidas necessitaram ser rigorosamente observadas; pois em serviços de caldeiraria, são admissíveis erros toleráveis de até 5 % e para dimensões consideráveis como as verificadas, qualquer desvio pode inviabilizar a substituição no campo.



Fig. 1 -Trafo do projeto piloto - Preservação a sílica gel.

De posse dos projetos foram contratados os serviços de construção dos tanques (caldeiraria) e de confecção das bolsas.

No fornecedor dos serviços de caldeiraria, a decisão de executar furos oblongos nos pontos de fixação situados no sentido da maior dimensão (eixo longitudinal) da nova peça a ser instalada; foram de extrema importância para facilitar os ajustes de campo quando da substituição.

As bolsas selecionadas no mercado nacional foram escolhidas depois de um estudo de suas características, de modo a representar o que existia de novo, sendo adquiridos dois lotes (fabricantes nacionais A e B) e encaminhados à sede do fornecedor dos novos tanques conservadores, onde para os serviços de instalação das mesmas e das válvulas utilizadas na célula de preservação foram contratados do próprio fabricante dos transformadores.

As células de preservação já com as válvulas e bolsas instaladas, foram entregues na sede da Light no Rio de Janeiro no final de maio de 2005, com atraso aproximado de cinco meses, em relação ao previsto no cronograma original. Diversos motivos geraram o atraso na entrega das células de preservação, envolvendo desde dúvidas nas medidas de campo (foram refeitas), atraso no recebimento de bolsas, registros, flexíveis e materiais e atraso dos serviços de caldeiraria para confecção das células. Nas etapas posteriores esse atraso foi recuperado, retomando-se os prazos previstos no cronograma original.



Fig. 2 - Bolsa sendo fixada na célula de preservação.



Fig. 3 - Bolsa fixada no interior da célula de preservação.

Recebidas as novas células de preservação iniciou-se o planejamento para instalação das mesmas em substituição aos tanques conservadores existentes.

A primeira substituição foi programada para 20/06/05, no período das 07:00 h às 16:00 h e durante os serviços surgiram imprevistos que causaram atraso no retorno da unidade à operação.

Na ocasião houve problemas no enchimento da bolsa para colocação em operação, sendo a mesma retirada, retornando-se com o transformador à operação, sem a bolsa na célula de preservação.

Os serviços foram suspensos temporariamente para verificação das condições da bolsa retirada e re-avaliação do planejamento do serviço, devido falhas observadas durante a execução.

A bolsa retirada foi verificada e inflada para testes, não apresentando qualquer anormalidade, sendo posteriormente instalada no transformador do qual foi retirada, sem apresentar problemas.

Durante os ensaios de verificação da bolsa (supostamente danificada) fora do transformador, a mesma foi inflada para testes e mostrou que os aspectos de fragilidade e baixa resistência a esforços mecânicos apregoados à esses dispositivos são infundados (nas concepções adquiridas).



Fig. 4 - Trafo com tanque conservador antigo retirado.

A programação das substituições foi retomada a partir de 19/07/05 e a despeito de algumas dificuldades para ajuste dos pontos de fixação, a instalação das células de preservação ocorreu sem contratempos.

As células de preservação dos transformadores das posições ímpares (TR-1, TR-3 e TR-5) foram dotadas de bolsas do fabricante A e as dos transformadores das posições pares (TR-2 e TR-4), de bolsas do fabricante B.



Fig. 5 - Nova célula de preservação sendo instalada.

#### IV. ENSAIOS E RESULTADOS.

Após substituição das novas células de preservação, foram desgaseificados os transformadores do Projeto piloto, para equalização dos níveis dos gases a pesquisar.

Na desgaseificação; cada transformador foi submetido ao processo por um período aproximado de quarenta e oito horas; de forma a uniformizar os patamares dos gases em valores próximos. Os transformadores do Projeto piloto eram de potência 45 MVA, com 50.000 litros de óleo cada. Durante o tempo utilizado no processo de desgaseificação, o volume de óleo de cada transformador, passou pelo menos duas vezes pela máquina de tratamento.

A coleta de amostras para ensaios em cada unidade foi iniciada 48 horas após o término do período de desgaseificação (estabilização).

Os resultados obtidos nas análises antes e após a desgaseificação são mostrados na tabela 1 a seguir.

Tabela 1

Trafo	Data	Oxigênio	Nitrogênio
TR-1	Antes 23/08/05	9.000	73.600
	Após 07/09/05	900	9.400
TR-2	Antes 23/08/05	10.500	74.400
	Após 03/09/05	1.700	1.100
TR-3	Antes 23/08/05	25.500	76900
	Após 01/09/05	3.800	12.100
TR-4	Antes 22/08/05	7.700	66.300
	Após 26/08/05	1.000	6.500
TR-5	Antes 23/08/05	5.400	71.300
	Após 05/09/05	1.600	12.200

Os resultados obtidos após a desgaseificação foram tomados como ponto de partida (referência) para a avaliação da evolução do gás Oxigênio no período considerado.

Na análise dos resultados, caso as bolsas fossem totalmente impermeáveis à passagem dos gases atmosféricos, as concentrações de oxigênio no óleo mineral isolante deveriam decrescer lentamente; visto que esse gás é consumido internamente no transformador, nas reações de envelhecimento do papel isolante [13].

Existindo pouca disponibilidade de oxigênio para as reações que promovem o envelhecimento do papel isolante, essas reações se tornariam muito lentas, proporcionando maior vida útil à isolação sólida do transformador.

Da mesma forma as reações de oxidação do óleo mineral isolante se tornariam mais lentas, preservando por maior tempo as condições normais do mesmo.

Por outro lado, se as bolsas apresentassem permeabilidade aos gases atmosféricos, as concentrações de oxigênio se elevariam gradativamente até o ponto de saturação da dissolução desse gás no óleo.

Durante a primeira fase de ensaios (ensaios preliminares) verificou-se que alguns resultados apresentavam valores elevados (picos) numa determinada amostra e na amostra quinzenal seguinte, tais valores retornavam ao normal. Concluiu-se que tais amostras, poderiam estar sendo contaminadas pelo ar atmosférico e inicialmente suspeitou-se do procedimento de coleta.

Foi elaborado manual de procedimentos para a coleta e as equipes coletoras foram treinadas e orientadas a seguir rigidamente o mesmo.

Mesmo com esses cuidados, valores discrepantes continuaram sendo registrados, tornando necessária uma análise mais acurada do problema.

No início da segunda fase de ensaios (ensaios complementares) verificou-se que pelo fato do oxigênio e nitrogênio estarem presentes no ar atmosférico, todas as etapas do processo de análise, desde a coleta até a realização do ensaio, apresentavam grande probabilidade de contaminação das amostras; pois em qualquer das etapas envolvidas, o contato com o ar atmosférico poderia ocorrer de forma desapercibida.

Nos ensaios constatou-se que a presença de qualquer micro bolha no interior da seringa levava à perda da amostra.

Para prosseguimento dos ensaios foi necessário identificar os principais pontos onde pudessem estar ocorrendo os desvios e procurar meios de atenuar os riscos.

Nas coletas, passaram a serem utilizadas seringas de vidro (as plásticas são permeáveis a gases) novas, para evitar

êmbolos desgastados ou com folga, que possibilitam contaminação da amostra.

Foi evitado o avião como meio de transporte das amostras, pois os compartimentos de carga dos mesmos em geral não são pressurizados.

Passou-se a verificar a existência de vazamentos nas seringas de amostras antes do envio e no recebimento no laboratório.

Estabeleceu-se um período para a análise das amostras, de no máximo de dez dias após a coleta, após o que as amostras perderiam a validade.

Discutiu-se com o laboratório os resultados discrepantes surgidos, solicitando-se ao mesmo que mantivesse o máximo rigor nos procedimentos de ensaios para as novas amostras, evitando qualquer descuido que pudesse comprometer o resultado esperado.

Para controle dos resultados, foi disponibilizado ao laboratório o histórico dos ensaios até então realizados, de forma que o mesmo pudesse identificar eventuais tendências discrepantes antes de emitir o laudo definitivo.

Para segurança nas análises, definiu-se que seriam coletadas duas amostras (em imediata sucessão) de cada transformador para ensaios; de forma que se uma delas apresentasse valores duvidosos, a outra poderia ser utilizada como contra-prova. Como exemplo relatamos a seguir o ocorrido com os ensaios realizados na primeira amostra coletada em duplicata, em 03/02/06, para os transformadores TR-5 e TR-1, onde se percebe claramente as dificuldades de avaliação envolvidas no processo.

O laboratório percebeu em uma das amostras coletadas para o TR-5 (seringa B), a presença de pequena micro-bolha no óleo. A outra amostra coletada pra o mesmo transformador (seringa A) não apresentava vestígios de bolhas.

Para o TR-1, nenhuma das amostras (seringas A e B) apresentava vestígios de bolha.

Devido tratar-se da primeira coleta em duplicata decidiu-se ensaiar ambas as amostras dos dois transformadores. Os resultados são apresentados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2

Trafo	TR-5		TR-1	
Amostra	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Seringa A	2.208	19.082	3.866	23.274
Seringa B	12.458	62.208	2.246	20.024

Para o TR-5, percebe-se claramente que a presença de micro bolha de ar na amostra da seringa B comprometeu totalmente o resultado obtido.

Para o TR-1, apesar das amostras (seringas A e B) não apresentarem vestígios de bolhas e terem sido coletadas em imediata sucessão, os resultados mostram que existem diferenças de valores entre os resultados obtidos.

Esses resultados mostram que mesmo os ensaios de laboratório não apresentam precisão absoluta quando se trata de analisar gases que se encontram presentes na própria atmosfera que envolve o ambiente de ensaio.

Como as concessionárias de energia elétrica nunca utilizaram os resultados das concentrações de gases O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> para fins práticos, nunca deram muita importância a esses ensaios e talvez por isso, os laboratórios não tenham se empenhado a fundo para desenvolver metodologia de ensaio precisa para a determinação desses gases dissolvidos no óleo isolante.

Em vista das dificuldades verificadas para análise de resultados, decidiu-se que as duas amostras coletadas seriam analisadas, considerando-se o menor valor obtido como resultado mais provável.

Para possibilitar comentários sobre os resultados obtidos durante o período de avaliação, apresentamos a seguir gráficos de acompanhamento de O<sub>2</sub>, levantados para um dos transformadores em estudo. Lembramos que a NBR 5416/97

[19] recomenda que para evitar perda de vida útil quando de carregamentos de transformadores de potência, as concentrações de O<sub>2</sub> dissolvidas no óleo mineral isolante não devem ultrapassar 3.000 ppm.

O primeiro gráfico (fig. 06) mantém na curva os valores considerados duvidosos durante o período de avaliação. No segundo gráfico (fig. 07) esses valores foram expurgados.

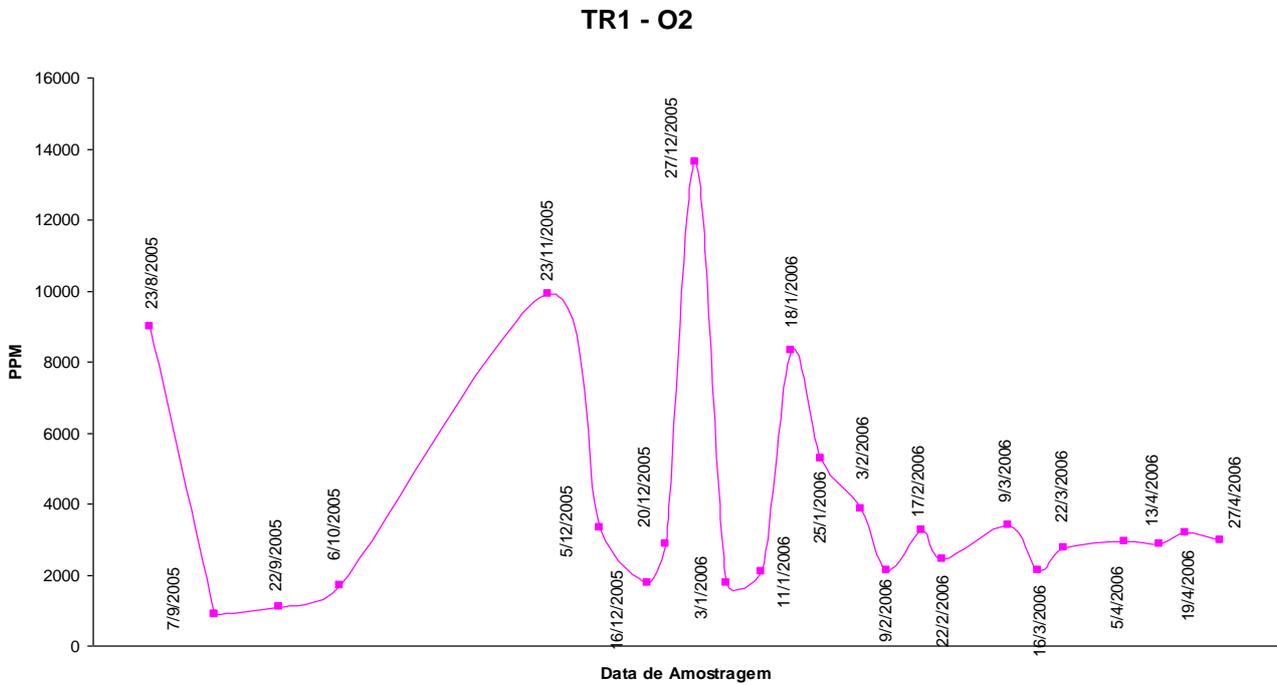


Fig. 06

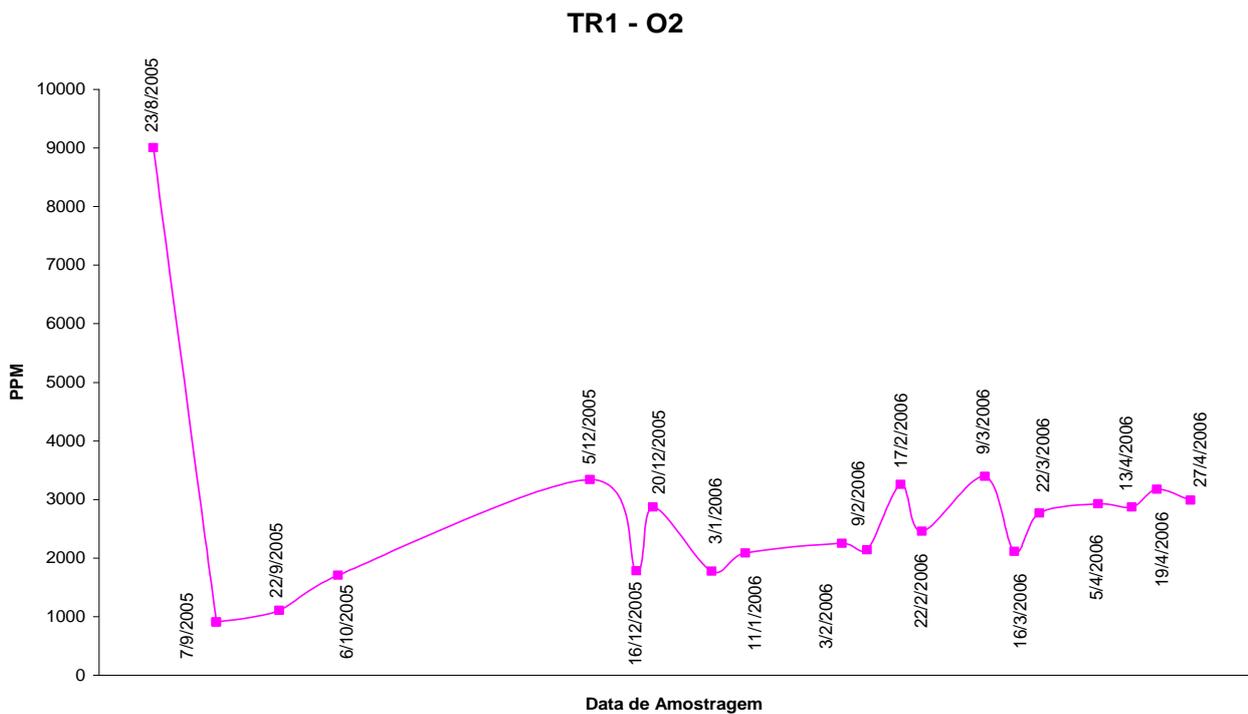


Fig. 07

Avaliando-se o gráfico da figura 06 (fig. 06), verifica-se que os pontos onde ocorreram picos realmente são discrepantes visto que na análise imediatamente posterior, os resultados retomam valores normais. No gráfico da figura 07 (fig 07), os valores considerados discrepantes foram eliminados e verifica-se que mesmo assim os resultados médios obtidos indicam valores oscilando na faixa de 1.500 a 3.500 ppm.

Por esses resultados verifica-se que os ensaios não apresentam uma precisão absoluta para análise de gases existentes na atmosfera e que o fato desses gases envolverem o ambiente de ensaio, dificulta bastante evitar contaminações indesejáveis nas amostras.

Relativamente à impermeabilidade do material componente das paredes da bolsa ao oxigênio do ar atmosférico, pode-se afirmar pelos resultados obtidos que a película utilizada não é impermeável à passagem do gás.

A oscilação de valores de concentrações de oxigênio na faixa entre 1.500 e 3.500 ppm, mostra que as paredes da bolsa oferecem alguma resistência à passagem do oxigênio do ar atmosférico e retardam apenas em parte o crescimento da disponibilidade desse gás no interior do transformador. Para transformador dotado de bolsa, o crescimento das concentrações de oxigênio do ar atmosférico no interior do mesmo é bem mais lento que em transformadores dotados de sistemas abertos e a concentração final é bem menor, entretanto pode exceder o valor limite da norma.

#### V. CUSTOS ENVOLVIDOS.

No caso do projeto em questão, o custo da construção e substituição das células de preservação por transformador foi de R\$ 34.000,00. Não está incluído nos custos o tratamento para degaseificação do óleo mineral isolante.

A tabela a seguir mostra o resumo dos valores desembolsados.

Atividade	Custo Unitário (R\$)
1 - Construção das células de preservação.	14.000,00
2 - Transporte células de preservação para o local de instalação.	3.000,00
3 - Aquisição de acessórios (válvulas, registros, flanges, etc.)	7.000,00
4 - Aquisição de bolsas.	4.000,00
5 - Contratação de mão de obra e guindaste para substituição.	6.000,00
Total por transformador	34.000,00

#### VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

1.) Mesmo com a afirmação dos fornecedores de bolsas que as novas unidades produzidas são dotadas de camada intermediária de novos materiais (polímeros [08]), essas camadas não propiciaram melhores condições de impermeabilidade às bolsas. A camada intermediária

colocada nas bolsas é constituída por um tecido gradeado de polímero (e não um filme contínuo e impermeável como se imaginava) para possibilitar que as camadas de borracha nitrílica de ambas as faces, se soldem através das grades da malha. A camada intermediária assim composta; oferece maior resistência mecânica ao conjunto e possibilita a utilização de espessuras menores de borracha nitrílica nas paredes da bolsa (implicando em menor peso). Dessa forma, as camadas de borracha nitrílica, a exemplo das bolsas mais antigas, continuam sendo a única barreira para limitar a entrada dos gases atmosféricos no transformador e como já verificado nas bolsas mais antigas, as mesmas são permeáveis a esses gases. Segundo os fabricantes de bolsas não existe tecnologia desenvolvida que permita efetuar a aderência da camada de borracha nitrílica a superfícies lisas. Da forma como foi concebida a camada intermediária, as paredes das bolsas continuam sendo permeáveis aos gases atmosféricos pela da camada de borracha nitrílica que promove a solda entre as duas faces da bolsa, através das grades do tecido.

No aspecto de resistência mecânica, espessura da parede da bolsa e resistência a esforços mecânicos, as diferenças são perceptíveis e foram bastante positivas.

2.) Transformadores com sistemas abertos de conservação do óleo isolante, podem ser substituídos por sistemas de preservação selados através de bolsa; porém essa modificação necessita ser bem avaliada e detalhadamente planejada pois a substituição em campo pode esbarrar em situações imprevistas e trazer riscos de inviabilizar a troca.

3.) Quanto maior o tempo de operação de um transformador, mais o mesmo estará se aproximando de seu final de vida útil e menor será o tempo disponível para estender parte dessa vida útil restante. Dessa forma, esse aspecto também deve ser avaliado quando de tomadas de decisão para melhorar sistemas de preservação de óleo isolante.

4.) Os ensaios de análise cromatográfica para gases encontrados no ar atmosférico, levam a resultados bastante diferentes para amostras semelhantes, sugerindo baixa precisão de resultados. Esses ensaios necessitam de maior avaliação para determinação de outras eventuais causas que possam estar levando a essas distorções. A presença do ar atmosférico em todas as fases do processo, desde a coleta até o ensaio propriamente dito, pode estar interferindo nos resultados obtidos e necessita ser avaliada.

#### VII. REFERÊNCIAS.

- [1] V. Sokolov and Z. Berler Assessment of Power Transformers Insulation Condition Proceedings of the EIC/EMCWE'01 Conference, October 15-18,2001,Cincinnati, OH
- [2] V.V. Sokolov, Z. Berler, V. Rashkes "Effective Methods of the Assessment of the Insulation System Conditions in Power Transformers: A View Based on Practical Experience", Proceedings of the EIC/EMCWE'99 Conference, October 26-28,1999,Cincinnati, OH

- [03] SUBCOMITÊ DE MANUTENÇÃO. “Influência dos sistemas de preservação na vida útil dos óleos isolantes e equipamentos elétricos” Capítulo 4 do Volume 1 do relatório do GCOL.SCM.CFQ.006 - Informe do 8º encontro técnico do CFQ e SCM.GTMS.022 - Informe do 22º Encontro Técnico do GTMS.
- [04] OSAKA TRANSFORMER CO. LTD. “Oil Deterioration Preventing Devices for Transformers” - Catálogo Técnico - Technical Features.
- [05] MOSER, H. P. - “Transformerboard” Special print of Scientia Electrica – Vermont, U.S.A.
- [06] MILASCH, Milan -. “Manutenção de transformadores em líquido isolante” 4ª reimpressão-1993 - Editora Edgard Blücher Ltda.
- [07] NOGUEIRA, J. M. e JERMOLOVICH, L. A. - “Química Orgânica” - Escola de Engenharia Mauá.
- [08] MANO, Eloísa Biasotto - “Introdução a Polímeros” - 4ª reimpressão 1990 - Editora Edgard Blücher Ltda.
- [08] PERRY, Robert H. - “Chemical Engineers Handbook” Fifth Edition - McGraw Hill Kogakusha, Ltd..
- [10] Regulamento Técnico CNP 06/79 - Revisão 2
- [11] Portaria DNC Nº 46/94.
- [12] BASSETTO F., A. - “Diagnostic assessment of the condition of insulating systems in power transformers.” in: SUBSTATION EQUIPMENT DIAGNOSTICS CONFERENCE 8, Nova Orleans 1999. Anais. Palo Alto, EPRI, 1999, 9 p.
- [13] BASSETTO F., A. et all - “Effects of preservation systems on the condition of the insulating systems in power transformers.” C. TECHCON 99 - Nova Orleans, 1999. Anais. Sacramento TJ/H2B 1999, 11 p.
- [14] BASSETTO F., A. e MAK, J. - “Maintenance practices to improve loading and to extend life of power transformers.” in: TECHCON 96 Nova Orleans, 1996. Anais. Sacramento, TJ/H2B 1996, 9 p.
- [15] BASSETTO F., A. e MAK, J. - “Medidas que podem dobrar a vida útil de transformadores de potência.”- Eletricidade Moderna, v. 258, p. 28, julho, 1.995.
- [16] SUNDIN, D. W. - “Biologic Decomposition of Liquid Dielectrics.” Elektrik Magazine, (publicação da União Russa de Engenheiros de Sistemas de Potência).Moscou, fevereiro,1.992.
- [17] BASSETTO F., A. - “How the products from insulating oil degradation can affect the life of power transformers.” in: CIGRÉ SESSION, Paris, 1992. Anais, Paris, CIGRÉ, 1.992, paper nº 12-104.
- [18] CLARK, F.M., - “Factors Affecting the Mechanical Deterioration of Cellulose Insulation.” AIEE Transactions, vol.61, Oct.1942, pp. 742-749. System Manufacturer and Service Company”, Proceedings of the 1995 DOBLE Conference,Sec.5.7
- [19] ABNT, Procedimentos para Carregamento de Transformadores de Potência, NBR 5416/97, Jul. 1.997.