

Utilização de Novas Metodologias para Localização de Vazamento de Óleo em Cabos Tipo OF

Tarcisio M. de Lima, Aloisio J. O. Lima, Daniel M. de Almeida

Resumo – Na CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, as três linhas de transmissão subterrâneas existentes utilizam cabos do tipo OF e transmitem juntas 3100MVA. Por vários motivos, a integridade da capa metálica extrudada, ou das soldas nas emendas, pode ficar comprometida e causar perdas de óleo para o ambiente. Como mais de 80% das linhas subterrâneas, acima de 69 kV, instaladas no Brasil utilizam “cabo OF”, o desenvolvimento de um método mais rápido e menos dispendioso para localizar vazamentos de óleo é um objetivo primordial. Para buscar esse objetivo foi estudada a localização de traços de gás através da injeção de Perfluorcarbono (PFC) misturado com o óleo dos cabos. Foram realizados testes em protótipos montados na CTEEP-Limão, SE Pirituba e SE Milton Fornasaro e na linha de transmissão XAV – BAN, no trecho entre a SE Bandeirantes e a caixa de emenda 8. Com os resultados obtidos, concluiu-se que há viabilidade do uso dessa metodologia.

Palavras-chave – cabos, descargas parciais, localização, PFC, vazamentos.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, 80% das linhas de transmissão e subtransmissão subterrâneas utilizam cabos do tipo OF, isolados com papel e óleo, com tempo de operação que vai de 10 anos a mais de 40 anos, razão pela qual o vazamento de óleo é um problema sempre presente para os setores de manutenção.

Por motivos diversos como, corrosão por correntes parasitas, danos causados por terceiros, movimentações devido a variações de temperatura, e outros, a integridade da capa metálica extrudada ou das soldas nas emendas pode ficar comprometida e causar perdas de óleo para o ambiente.

Essas perdas podem ser de pequenas quantidades, tais como um ou alguns litros por dia, ou de grandes proporções que exijam o desligamento imediato da Linha de Transmissão Subterrânea (LTS).

No primeiro caso a LTS não necessita de desligamento imediato, mas o vazamento tem que ser localizado o mais rápido possível.

Hoje, as localizações são feitas basicamente pelo processo de vazão (pré-localização) complementada pelo processo de congelamento. Esse último consiste em abrir valas na rua,

descobrir o cabo, para poder realizar o congelamento com nitrogênio líquido, selecionando áreas (tipo pinpoint). Além de muito dispendioso, esse método interfere fortemente com as áreas de trânsito, são demorados e exigem o desligamento do circuito pesquisado, levando muitas vezes mais de uma semana para identificar o ponto de vazamento.

Nesse projeto foram estudadas duas metodologias visando reduzir o tempo de indisponibilidade da linha subterrânea e o custo para localização de vazamentos de óleo: Congelamento parcial do óleo e Utilização de perfluorcarbono como marcador do óleo.

O primeiro não mostrou vantagens substanciais sobre o método tradicional enquanto o segundo demonstrou trazer ganho na indisponibilidade da linha e baixo custo e dessa maneira passou a ser o objeto principal do projeto.

Este artigo apresenta o desenvolvimento e a aplicação da metodologia de utilização do PFC como marcador do óleo isolante injetado nos cabos e localizado no ambiente nos pontos de vazamento.

Esta metodologia necessita apenas de uma escavação para expor o cabo, quando da localização do vazamento.

Dos resultados que foram obtidos nos vários protótipos se verificou a viabilidade do método.

Este artigo aborda o projeto P&D da ANEEL sob o número 0068-0001/2009 cujo título é “Utilização de novas metodologias para localização de vazamento de óleo em cabos tipo OF”.

II. LOCALIZAÇÃO DE TRAÇOS DE GÁS PFC

A utilização de compostos químicos, denominados marcadores, na detecção de vazamento de óleo em cabos subterrâneos tem sido constantemente reportada. A Tracer Detection Technology Corp. [1] relatou, em um resumo técnico, que na seleção de um composto marcador para essa finalidade devem ser levados em conta os seguintes principais aspectos:

- Interferência de componentes atmosféricos na detecção do composto marcador;
- Pressão de vapor do composto marcador;
- Tempo de vida do composto na atmosfera; e
- Toxicidade do composto marcador em níveis iguais ou abaixo de ppm (partes por milhão).

Também foi reportado nesse relatório que os compostos perfluorcarbonos, denominados de PFCs, mais especificamente o composto PDMC, 1,3-dimetilciclohexano perfluorcarbono (C8F16), utilizados como marcadores na detecção de vazamentos de cabos preenchidos com óleo isolante, atendem a todos estes requisitos.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

T. M. de Lima trabalha na CTEEP (e-mail: tlima@ctEEP.com.br).

A. J. O. Lima e D. M. de Almeida trabalham na AJOL Engenharia e Assessoria LTDA. (e-mails respectivamente: ajolengenharia@uol.com.br, danielmaia_fei@yahoo.com.br).

Neste tipo de aplicação, os PFCs são introduzidos em pequenas quantidades no cabo OF desgaseificado, sendo necessário um método de detecção destes marcadores na superfície quando da ocorrência de vazamentos de óleo no solo.

O Electric Power Research Institute (EPRI) publicou um relatório completo onde foi desenvolvida e demonstrada a viabilidade técnica do método de PFCs na localização de vazamentos de cabos subterrâneos [2]. Neste relatório vários aspectos foram abordados, desde ensaios de laboratório onde foram avaliados parâmetros que afetam a difusão destes compostos no solo, até ensaios demonstrativos pilotos. Instrumentos para detectar traços de PFCs dispersos no ar também são descritos aqui.

O uso de PFCs na detecção de vazamentos de gasolina em tubulações tem sido discutido por Dietz e Senum [3] e comparada pelos autores com outras tecnologias baseadas em medidas de pressão, acústicas e de análises de laboratório, pela investigação de traços de gasolina em amostras de solo.

Fairhurst [4] mencionou as seguintes vantagens do uso de PFCs em comparação com outros métodos de detecção de vazamentos de óleo:

- A questão ambiental:
 - Menor perda de óleo em função da obtenção de respostas mais rápidas quando da ocorrência de um vazamento no cabo subterrâneo;
 - Menor distúrbio público.
- A segurança:
 - Não necessidade de congelamento do cabo;
 - Menos escavações.
- A operacionalidade:
 - Vazamentos podem ser localizados sem a necessidade de interrupção;
 - Reparos de vazamentos podem ser planejados;
 - Redução de interrupções não programadas;
 - Aumento na disponibilidade do circuito.

A. Perfluorcarbonos

Os PFCs são compostos sintetizados, amplamente utilizados em medicina e equipamentos de refrigeração livres de Clorofluorcarbono (CFC) e estão disponíveis no mercado nacional. Os PFCs também têm sido usados para avaliar o transporte de gases em sistemas de cobertura [5].

Os PFCs são formados por compostos que contém basicamente átomos de carbono e de flúor em sua estrutura, onde os átomos de flúor se encontram ligados aos de carbono [9], conforme apresentado na figura 1.

As características dos PFCs estão relacionadas com a estrutura química dos compostos que os constituem.

Os PFCs são líquidos a temperatura ambiente, atóxicos, quimicamente estáveis, termicamente inertes e não corrosivos [2], [10], [11].

Foi feito um levantamento das características químicas e físico-químicas de alguns compostos PFCs comercialmente disponíveis [6]-[8] e foi constatado que estes não apresentam risco à saúde e à segurança do trabalho. Nesse tipo de aplicação o impacto ambiental é desprezível, em função da baixa concentração utilizada.

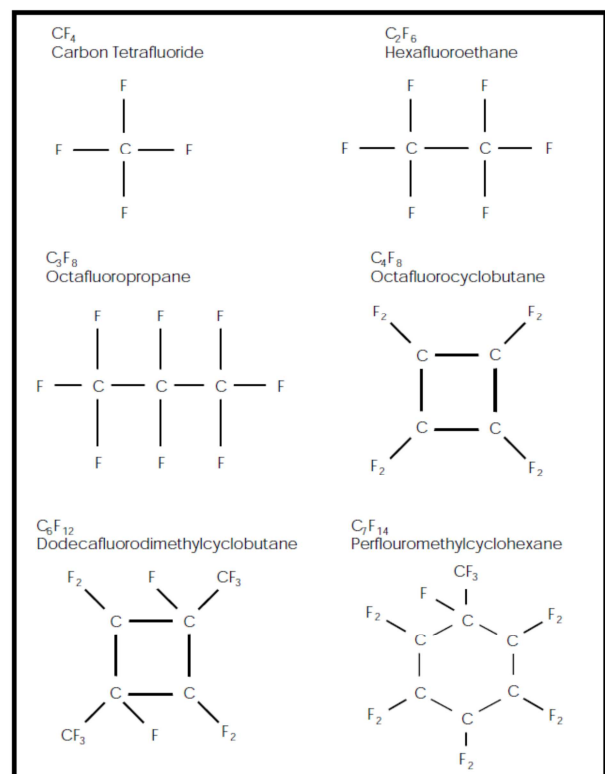


Figura 1. Estrutura química de alguns PFCs [9].

Segundo Goodwin, cerca de 10 – 100 ppm de PFC são introduzidos no cabo como marcador e nessas concentrações as propriedades isolantes do óleo não são afetadas [13]. E, segundo estudo realizado por Conderc [2], nessas condições os PFCs são compatíveis com os demais materiais do cabo e possuem boas propriedades dielétricas da mesma ordem de magnitude que o gás nitrogênio.

A interação de PFCs com materiais de vedação tem sido investigada pelos fabricantes de PFCs [2]. O PFC puro afetou as borrachas de VITON e TEFLON, por exemplo. Porém, esse efeito não foi observado em testes realizados com soluções contendo 0,1% de PFC (1.000 ppm). Assim, nas concentrações utilizadas no óleo do cabo, a interação dos PFCs com os materiais de vedação é desprezível [2].

B. Uso de PFCs na localização de vazamentos de óleo em cabos subterrâneos

Em 1988, a concessionária de energia ConEdison de Nova York, aproximou o EPRI e o laboratório Brookhaven National Laboratories com o objetivo de desenvolver um novo método de detecção de vazamento de cabos isolados a óleo [14]. A equipe do Brookhaven National Laboratories (por meio do EPRI) realizou uma extensa pesquisa e publicou em janeiro de 1999 o método do PFC (perfluorcarbono) para detecção de vazamentos de óleo em cabos subterrâneos. Este método foi inicialmente utilizado exclusivamente pela ConEdison (e EPRI) e só em 2006, ex-funcionários da empresa ConEdison começaram a promover a utilização deste método fora de Nova York. Desde então, vários prestadores de serviço entraram no mercado oferecendo esse tipo de

serviço nos EUA e, recentemente, fornecendo o equipamento de monitoramento dos PFCs no mercado mundial [14].

No relatório técnico publicado pelo EPRI [2] estão relatados dois tipos de testes aplicando os PFCs:

- Teste piloto: simulação de um vazamento de óleo em uma região urbana, em região externa ao cabo subterrâneo. Óleo contaminado com 0,03% ou 300 ppm de PFC (1,2-dimetilciclohexano perfluorcarbono) foi liberado num buraco, a uma vazão de 0,5 gal/h por 2,5 dias. A concentração do marcador foi detectada num raio de 500 pés ao redor do local onde foi feita a simulação do vazamento. Amostras mais apuradas permitiram identificar a localização do vazamento numa faixa de 100-200 pés.
- Testes de campo: aplicação do PFC em um cabo subterrâneo com vazamento conhecido e desconhecido. Uma solução primária com 1,0% de PFC em óleo isolante foi diluída em um tambor para obter uma solução com 0,1% de PFC, a qual foi injetada no cabo. A localização dos vazamentos foi possível em um curto período de 6 horas numa secção de 2 milhas do ponto de injeção do marcador no cabo.

A referência [17] mostra que na National Grid, da Inglaterra, já foi aplicado PFC em linhas de transmissão subterrâneas de até 400kV. Também informa que os resultados experimentais demonstram que níveis até 10ppm de PFC dentro do cabo são detectados na superfície quando ocorrem vazamentos.

Goodwin disse em [13] que há três anos o PFC tem sido usado na África do Sul na detecção de vazamentos de óleo. Num intervalo de 2 anos foram detectados na África do Sul 39 vazamentos por esse método. Concluindo, o autor comenta que a localização de vazamentos pelo método do PFC é técnica e economicamente viável. Na África do Sul há 200 circuitos diferentes com comprimento de 500 m a 10 km, com um comprimento total estimado de 600 km com tensões de 33 a 132 kV.

Sullivan e colaboradores utilizaram uma mistura de PFCs constituída por: perfluordimetilciclobutano, perfluordimetilciclopentano, perfluordimetilciclohexano, 1,4 transdimetilciclohexano e perfluorimetilciclohexano. Os resultados obtidos foram satisfatórios quanto ao uso da mistura de PFCs na localização da falha [10].

C. Métodos de detecção dos PFCs liberados na atmosfera em decorrência de um vazamento de óleo no cabo

Na referência [1] foram apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação de diferentes métodos para detectar o PDMC, como cromatografia em fase gasosa acoplada ao detector de captura de elétrons (ECD) e espectroscopia na região do infravermelho [1]. Ambos os métodos podem ser utilizados para detectar o PFC.

A EDF ENERGY Networks desenvolveu em parceria com a empresa FEMTOTRACE inc., um equipamento móvel, que permite a detecção, em tempo real, de compostos indicadores à base de PFCs [11]. O equipamento desenvolvido por esta empresa permite a localização de pequenos volumes de vazamentos, tipicamente em torno de 50 litros/mês. Como o equipamento é de médio porte, a empresa

instalou-o dentro de um veículo para realizar a investigação de PFCs, provenientes de vazamentos de cabos, por exemplo.

O uso do analisador “dual-trap analyser” ou DTA móvel, instalado em um veículo, também tem sido reportado na literatura [15]. Enquanto um dispositivo coleta a amostra de ar, o outro promove a dessorção do PFC coletado, cuja concentração é determinada por um detector de ECD (detector de captura de elétrons). Os autores se referem ao método do uso do PFC como sendo mais barato e mais rápido em relação ao método de congelamento. Segundo os autores, o PFC na forma líquida é misturado ao óleo e quando ocorre o vazamento, a mistura óleo-PFC molha o solo, o PFC evapora e é transportado para a superfície. Usualmente, a emissão do vapor de PFC no ar é estabilizada num período de tempo inferior a 24 horas. A concentração típica de PFC no ar, no local do vazamento, é da faixa de poucos a várias centenas de partes por quatrilhão (ppq), sendo o background dos PFCs próximo de 1 ppq. Como o detector de ECD é muito sensível aos PFCs, concentrações menores que 1 ppq acima do background podem ser usadas para localizar vazamentos muito pequenos, da ordem de 1 galão/dia.

Houssoun e colaboradores [12] desenvolveram monitores para realizar a coleta de 4 compostos de PFCs injetados em cabos OF (perfluordimetilciclobutano, perfluordimetilciclopentano, perfluordimetilciclohexano e perfluor-1,3-dimetilciclohexano). Os monitores foram levados ao laboratório e analisados por cromatografia em fase gasosa acoplada ao detector de ECD. Os compostos foram precisamente detectados numa profundidade de 3 metros, sem escavação prévia.

Monitores de coleta do ar contaminado com PFCs também foram usados por Heiser e colaboradores [16]. Os monitores foram instalados ao longo de um duto. Após 24 h de injeção dos PFCs no duto, que foi feita continuamente por 7 a 10 dias, os monitores foram coletados periodicamente e analisados em laboratório. Os resultados obtidos foram mapeados para identificar o local dos vazamentos.

O efeito das condições geológicas e geotérmicas do solo na difusão dos PFCs até a superfície, no caso de vazamentos de óleo de cabos subterrâneos, tem sido investigado em laboratório. Foi constatado que estes fatores podem ou não interferir nesse processo de difusão [15]. Os PFCs foram analisados por cromatografia em fase gasosa acoplada ao detector de ionização de chama (FID).

Na referência [9] o gás SF₆ também foi testado como composto indicador de vazamento em contêineres de armazenamento de plutônio, em paralelo com os PFCs. Ambos os traços dos compostos indicadores foram quantificados por cromatografia em fase gasosa acoplada ao detector de ECD.

Na África do Sul a detecção do marcador PFC é realizada por cromatografia, com detector de ECD [13]. O cromatógrafo é instalado numa Van que trafega ao longo do percurso de instalação do cabo. O ar ambiente é sugado por uma bomba de vácuo, concentrado e analisado em um cromatógrafo acoplado a um detector de ECD. Segundo Goodwin [13], amostradores passivos compostos por tubos pequenos contendo material adsorvente adequado podem ser usados para medir a concentração do PFC. Estes amostradores po-

dem ser colocados em cercas, postes, etc., ao longo da rota de instalação do cabo sob investigação. Estes tubos são, posteriormente, coletados e analisados em laboratório por cromatografia gasosa.

D. Escolha dos materiais e equipamentos para a detecção dos PFCs liberados na atmosfera em decorrência de vazamento de óleo no cabo

O PFC escolhido para os experimentos iniciais foi o Perfluor-1,3-dimetilciclohexano, que na prática é o mais utilizado segundo os vários trabalhos já publicados, possuindo todas as qualidades necessárias citadas em [1].

Outros PFCs tais como perfluordimetilciclobutano, perfluordimetilciclopentano e perfluordimetilciclohexano podem também ser utilizados, pois são passíveis de serem identificados em laboratório tanto quanto o Perfluor-1,3-dimetilciclohexano.

A adição do marcador ao óleo LAB deve ser realizada em condições tais que não cause um aumento da pressão residual de gases (RGP) acima do limite suportado pelos cabos OF.

Para isso, o caminho escolhido foi o de utilizar um tanque de óleo de pressão variável de 300 litros e pré-pressurizado a 2 ou 3 bar, tratado com RGP da ordem de 3mm de Hg.

Nesse tanque é injetada uma quantidade de PFC previamente calculada para que a sua concentração no óleo LAB fique em 30ppm.

Essa operação é repetida para todos os tanques que serão utilizados na linha.

A injeção do marcador no cabo é feita substituindo o óleo do canal do cabo (figura 2) pelo óleo com marcador preparado.

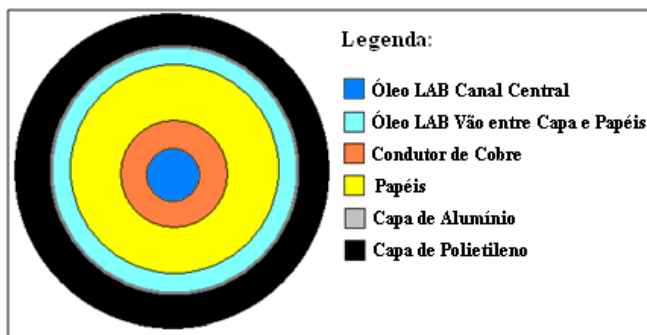


Figura 2. Estrutura do cabo OF.

Essa substituição é similar à operação de injeção de óleo na linha, devido à perda por vazamento e é um método normalmente conhecido e utilizado pelos técnicos de manutenção e de montagem.

O método escolhido para a detecção dos traços de PFC e sua quantificação foi a cromatografia em fase gasosa acoplada ao detector de ECD. As amostras do ar ao longo da linha podem ser recolhidas por meio de tubos amostradores passivos (CATS) colocados ao longo da linha de transmissão ou tubos amostradores acoplados a bomba de sucção de ar com vazão conhecida. Em ambos os casos os amostradores são levados a um dessorvedor acoplado ao cromatógrafo para liberar o seu conteúdo e realizar a detecção de traços de

PFC e sua quantificação que pode ser desde poucas até centenas de ppq, o que é compatível com os cromatógrafos associados ao ECD.

E. Testes realizados para aprovação da injeção de PFC nos cabos

• Características do óleo com marcador

Tabela I. Características do óleo LAB com marcador Perfluor-1,3-dimetilciclohexano em várias concentrações.

Ensaio	Unidade	Método	LAB PFC 1000 ppm	LAB PFC 100 ppm	LAB PFC 10 ppm
Ponto de fulgor	°C	NBR 11341	136	138	140
Ponto de combustão	°C	NBR 11341	142	144	148
Rigidez dielétrica	KV/0,1"	NBR 10859	65,0	70,0	70,0
Índice de neutralização	mg KOH/g óleo	NBR 14248	0,01	0,01	0,01
Tensão interfacial	mN/m	NBR 6234	39,7	39,3	39,0
Viscosidade 40°C	cSt	NBR 10441	5,26	5,27	5,15
Densidade	g/mL	NBR 7148	0,862	0,862	0,862
Fator de potência 100°C	%	NBR 12133	0,16	0,20	0,16
Resistividade volumétrica	10 ⁹ Ωm	NBR 12133	716	621	640

• Testes elétricos no protótipo full size com cabo OF 345kV

Para a realização do teste elétrico foi realizada a montagem de um protótipo "full size" para teste de tensão aplicada na Subestação Milton Fornasaro da CTEEP.

O protótipo foi construído para que fosse analisada a possibilidade de injetar a mistura de óleo LAB com PFC no cabo OF, sem que ocorressem danos ao ser energizado.

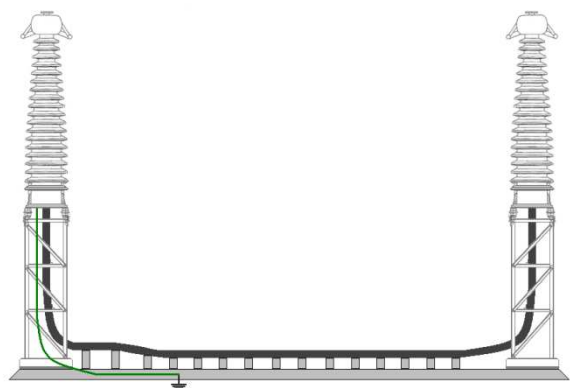


Figura 3. Croqui de montagem de protótipo "full size".

O protótipo foi montado sobre a superfície, conforme croqui da figura 3 e aproveitou a infra-estrutura existente na SE Milton Fornasaro, onde foi possível utilizar um espaço

cercado já com bases para fixação das torres dos terminais e sistema de aterramento já instalado, além de área para o estacionamento do caminhão com a fonte ressonante móvel de teste da CTEEP com segurança.

Terminada a montagem dos terminais foi feito o tratamento do óleo LAB dos cabos, do tanque de óleo e dos terminais.

Depois de terminado o tratamento foi realizado o teste de tensão aplicada para a homologação do funcionamento do protótipo (after installation test).

A prova consistiu em aplicar durante 15 minutos a tensão fase-terra de 280kV em corrente alternada.



Figura 4. Prova de tensão aplicada.

O tempo e a tensão aplicada foram definidos de acordo com os valores apresentados na norma IEC 60141-1, convertendo o valor de tensão de corrente contínua para alternada, utilizando a mesma relação indicada nessa norma.

O método usado foi o de aplicar inicialmente 40kV e ir subindo degraus de 20kV a cada minuto, até que a tensão máxima de 280kV fosse atingida e permanecesse assim por 15 minutos.

Em todos os experimentos elétricos foi utilizada a fonte ressonante móvel da CTEEP.

O cabo suportou o teste e foi considerado em condições de operação normal.

- Testes elétricos no protótipo Full size com cabo OF 345kV com óleo LAB+marcador

Após o teste de tensão aplicada foi feita a substituição do óleo LAB do protótipo por óleo LAB+marcador (Perfluor-1,3-dimetilciclohexano).

Depois de trocado todo o volume de óleo pela mistura PFC-LAB, foi mantido um tanque de alimentação na base do terminal com a mesma mistura garantindo, assim, a manutenção da mesma concentração da mistura PFC-LAB.

O cabo permaneceu 11 dias com o óleo com o marcador para possibilitar uma homogeneização interna e sua penetração nos papéis isolantes. Foram controlados os valores de RGP do canal e da capa externa.

Foram realizadas duas provas de tensão:

A primeira consistiu em aplicar a tensão de 280 kV fase-terra em corrente alternada por um período de 15 minutos.

Já a segunda prova consistiu em aplicar a tensão de 210 kV fase-terra em corrente alternada durante o período de 24 horas.

Como as provas foram feitas em sequência, sem intervalos, bastou baixar a tensão aplicada na primeira prova de

280 kV para 210 kV e mantê-la aplicada por 24 horas.

O resultado foi satisfatório.

- Medidas de descargas parciais no protótipo Full size com cabo OF 345kV com óleo LAB+marcador

Essa prova consistiu em realizar medidas de descargas parciais em diferentes níveis de tensão após a aplicação do PFC.

Antes de realizar essa prova foram retiradas amostras de óleo do protótipo para verificar a quantidade de PFC presente no protótipo.

Foram retiradas duas amostras no tanque de compensação conectado ao terminal, uma com ele fixo e outra logo depois de agita-lo e uma amostra na trombeta do terminal oposto ao primeiro.

Os resultados estão apresentados na tabela II:

Tabela II. Quantificação de PFC no protótipo 4 meses após injeção da mistura.

DESCRIÇÃO	PFC (mg/l)	PFC (ppm)
Tanque antes de agitar	314	353
Tanque depois de agitar	308	346
Trombeta oposta ao tanque	53,4	60

Como a injeção da mistura PFC-LAB aconteceu 4 meses antes dessa medida, o óleo do tanque e do cabo eram misturados entre si durante os ciclos diários de temperatura. Assim as concentrações de PFC no tanque e na trombeta onde é alimentado o cabo são próximas.

Note que a concentração de PFC dentro do protótipo variou de 353ppm a 60ppm, o que nos mostra que a distribuição do PFC dentro dos cabos não será uniforme e que parte do cabo trabalhou com quantidade de PFC elevada.

As medidas de descargas parciais foram iniciadas medindo os níveis de ruídos presentes nas instalações com o protótipo desenergizado. Com isso foi visto que o nível de ruídos era alto e então foram aplicados os filtros de modo a reduzi-los, o que possibilitou uma melhor calibração do medidor.

Depois disso foram realizadas as medidas de descargas parciais nas tensões em corrente alternada fase-terra de 210kV, 230kV e 280kV.

Foi feito monitoramento das descargas parciais durante o período de 30 minutos para cada nível de tensão.

Com a realização dessa prova foi possível comprovar que não existem descargas parciais no protótipo com PFC aplicado.

As únicas descargas apresentadas foram superficiais e se deram no cabo de alimentação vindo da fonte ressonante móvel, conforme figura 5:

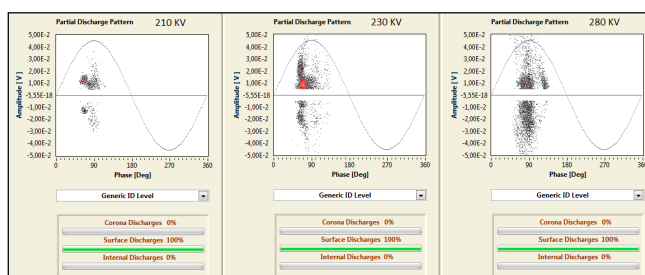


Figura 5. Análises das descargas parciais nos três níveis de tensão.

Com essa prova também foi comprovado que depois de 4 meses com PFC aplicado, as características isolantes dos materiais dielétricos dos cabos e dos terminais foram mantidas.

F. Testes de localização de traços de gás

• Tubos enterrados na CTEEP-Limão

Com o intuito de definir uma metodologia adequada para localização de traços de gás PFC foram feitas provas de detecção experimentais.

Os primeiros testes da detecção da presença de PFC foram realizados na mistura PFC-LAB e os resultados foram satisfatórios.

Depois disso foram montados 4 protótipos enterrados na CTEEP-Limão. Os protótipos eram formados por tubos enterrados que simulavam as valas de uma LTS, onde foi injetada a mistura PFC-LAB, conforme croquis apresentados na figura 6:

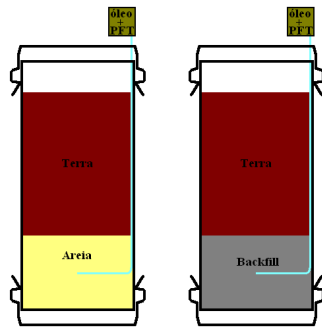


Figura 6. Croquis de protótipos enterrados na CTEEP-Limão.

Foram coletadas amostras de ar de forma passiva e através do uso de bomba de sucção de ar e conforme figuras 7 e 8:



Figura 7. Coleta de ar passiva.



Figura 8. Coleta de ar com bomba de sucção.

Depois de analisadas as amostras de ar coletadas, foi visto que o gás PFC chegaria à superfície em menos de 24 horas. Contudo, como os vazamentos de óleo em cabos OF normalmente acontecem por perfuração na capa metálica ou nas emendas, esse intervalo seria maior, pois o PFC teria que atravessar a camada de papéis isolantes (figura 2) para chegar ao ponto de vazamento.

• Protótipo enterrado na SE Pirituba

Foi montado na SE Pirituba, um protótipo onde seria simulado o vazamento de óleo existente na LTS XAV-BAN.

Antes de iniciar essa simulação, o laboratório realizou provas para definir a máxima quantidade de PFC que poderia ser coletada sem que o material adsorvente do tubo de coleta de amostras de ar ficasse saturado.

Na sequência, foi definida a concentração de PFC a ser aplicada na mistura e o volume de ar a ser coletado.

O protótipo ficou montado conforme o croqui apresentado na figura 9:

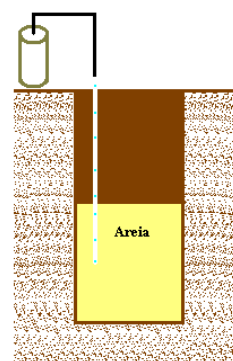


Figura 9. Croqui de protótipo enterrado na SE Pirituba.

Foram realizadas coletas de amostras de ar, sobre a superfície e no solo, tendo nos dois casos resultados satisfatórios, conforme gráficos apresentados nas figuras 10 e 11:

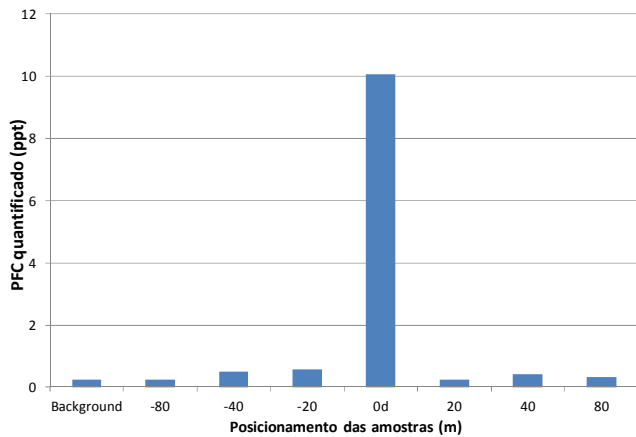


Figura 10. PFC quantificado sobre a superfície.

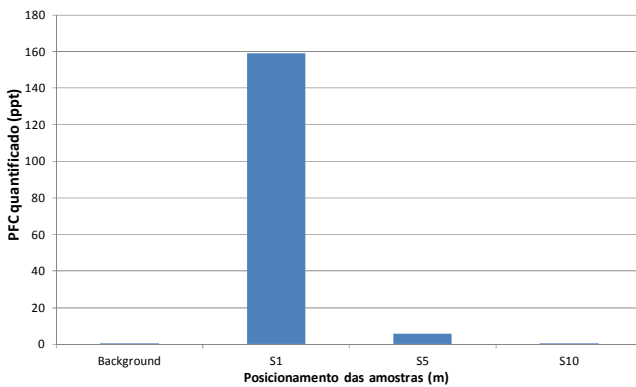


Figura 11. PFC quantificado no solo.

• Provas na LTS XAV-BAN

A fase azul do circuito 2 da LTS XAV-BAN está, há alguns anos, com vazamento de óleo em torno de 100 litros por mês.

Conhecido como “micro vazamento” por ter uma vazão muito baixa, não pode ser localizado pelo método hidráulico ou por congelamento.

Então, para testar a metodologia de localização de vazamentos com o uso do PFC foi iniciado um ciclo de provas, onde primeiramente foi injetada a mistura PFC-LAB no cabo com vazamento.

Após dois meses foram coletadas amostras de ar sobre a superfície em todo o trecho hidráulico que vai da SE Bandeirantes até a caixa de emendas 8. Os resultados são apresentados no gráfico da figura 12:

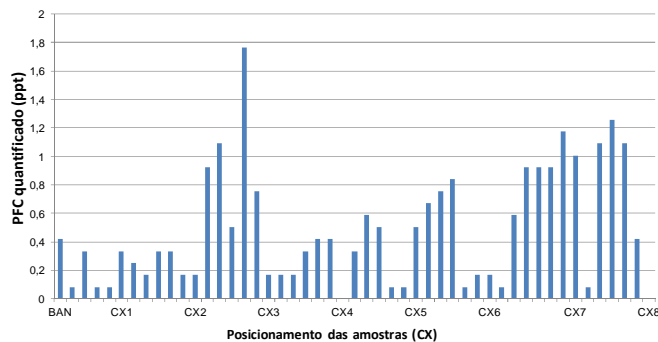


Figura 12. PFC quantificado sobre a superfície.

Em seguida, foram coletadas amostras sobre a superfície, na região dos pontos onde a concentração de PFC se apre-

sentou maior. Analisando esses resultados foi decidido realizar a coleta de amostras de ar no solo no trecho entre as caixas de emendas 6 e 7, conforme figura 13:



Figura 13. Coleta de amostra de ar no solo.

Os resultados são apresentados no gráfico da figura 14:

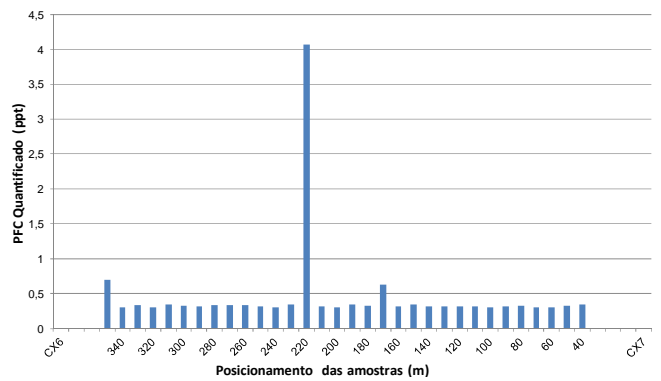


Figura 14. PFC quantificado no solo.

Tendo em vista esses resultados, foi realizada uma nova rodada de coleta de amostra de ar no solo na região onde se apresentou a maior concentração de PFC. Os resultados são apresentados a seguir no gráfico da figura 15:

Analisando os resultados foi decidido escavar no local para ver se o vazamento se encontrava-naquele ponto.

Nas duas coletas o ponto de maior concentração de PFC se repetiu, ou seja, entorno do 220m da caixa de emenda 7.

Nesse ponto foi feita a escavação expondo os cabos e o seu entorno.

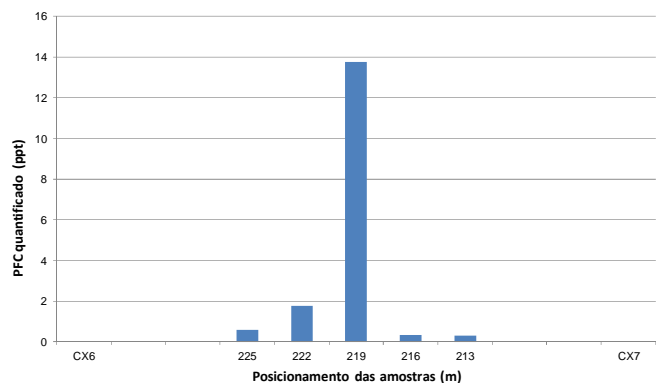


Figura 15. PFC quantificado no solo.

Entretanto, o vazamento não foi localizado o que levou a equipe do projeto, antes de realizar novas provas na LTS XAV-BAN, a montar um novo protótipo enterrado para ana-

lisar o comportamento do gás PFC no solo e sobre a superfície.

- Protótipo enterrado na SE Pirituba 2

Tendo por objetivo simular o vazamento de óleo apresentado na LTS XAV-BAN, foi montado um novo protótipo enterrado na SE Pirituba, conforme croqui apresentado na figura 16:

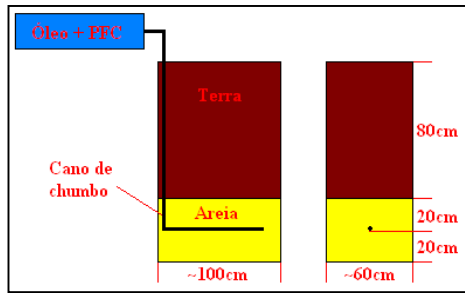


Figura 16. Croqui do protótipo enterrado na SE Pirituba 2.

Contudo, antes de montá-lo, foi realizada uma rodada de coleta de amostras de ar sobre a superfície e no solo para servir de background para as análises posteriores.

As amostras coletadas no solo não apresentaram PFC, já naquelas coletadas na superfície foi detectado, conforme apresentado no gráfico na figura 17.

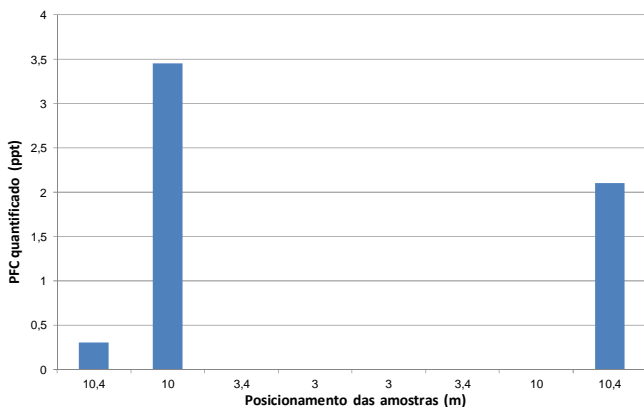


Figura 17. PFC quantificado, background.



Figura 18. Coleta de amostras de ar sobre a superfície.

Cinco dias depois de montado o protótipo e mantido um vazamento controlado da ordem de 0,4 l/h foi realizada a coleta de amostras de ar sobre a superfície e no solo.

Para garantir que a concentração de PFC medida estaria coerente foram coletadas duas amostras simultâneas cada ponto, conforme figuras 18 e 19.



Figura 19. Coleta de amostras de ar no solo.

Os resultados são apresentados nos gráficos das figuras 20 e 21.

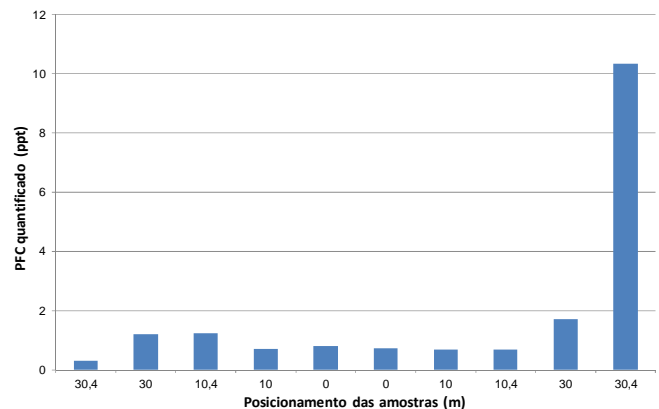


Figura 20. PFC quantificado sobre a superfície.

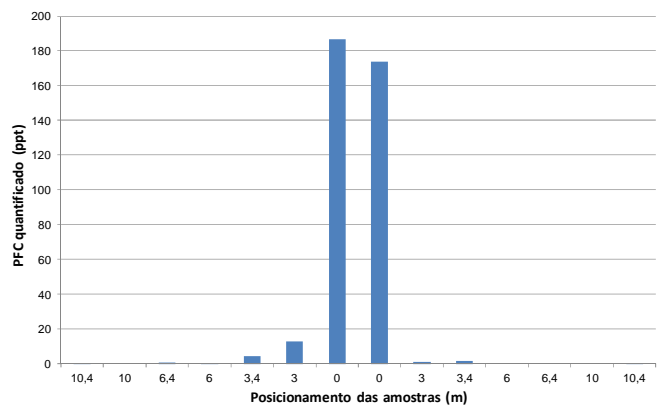


Figura 21. PFC quantificado no solo.

Analisando os resultados, observa-se que as concentrações de PFC medidas no solo estão indicando corretamente o local de vazamento. No entanto, sobre a superfície os resultados não foram satisfatórios.

Esses resultados indicam que o modo de coleta de amostras sobre a superfície deve ser desenvolvido de uma nova maneira e que sua análise deve ser considerada apenas como uma primeira indicação.

A análise do solo, quando estivermos sobre o ponto de vazamento deve indicar valores alto, mais de 100ppt. Quando da localização do vazamento na linha XAV – BAN embora tenha havido coincidência de indicação do ponto de máxima concentração os valores eram pequenos (4ppt e 14 ppt). Essa prática na interpretação deve ser agora desenvolvida no campo.

III. CONCLUSÕES

A. Detecção de traços de gás PFC

Em relação à metodologia de localização de traços de gás PFC, depois de realizadas as provas nos protótipos enterrados na SE Pirituba, observou-se que as amostras de ar coletadas no solo sempre indicaram o local do vazamento com uma concentração de PFC muito alta.

Com isso concluiu-se que, na LTS XAV-BAN, apesar de haver um ponto com maior concentração de PFC, se forem comparados os resultados com os dos protótipos, a concentração é muito pequena para se afirmar que o vazamento está naquele local.

Portanto, foi concluído que a metodologia de coleta de amostras de ar no solo está correta.

Entretanto, a coleta de amostras de ar sobre a superfície deverá continuar sendo desenvolvida.

Como o PFC medido nessas condições normalmente apresenta baixíssimas concentrações, o risco de contaminação dos tubos de amostragem é grande, o que pode gerar dúvidas quando os resultados forem analisados.

Também ocorre a presença de pequenas quantidades de PFC trazidas pelo movimento de ar na superfície.

Por fim, concluiu-se que deverão ser estudadas três novas possibilidades:

- Coleta passiva

Tubos de amostragem deveriam ser colocados no local sem as bombas de sucção de ar e seriam deixados por cerca de 2 semanas coletando o ar.

- Bomba de sucção de ar de alta vazão

Nesse caso seria sugada uma grande quantidade de ar em pouquíssimo tempo, o que iria diminuir o efeito dos ventos na dispersão do PFC.

- Sacos plásticos

A coleta de ar seria feita em sacos plásticos fabricados em material e formato apropriado, permitindo que as amostras de ar fossem injetadas diretamente no cromatógrafo para serem analisadas.

- Quantificação no solo.

Quando da coleta no solo é preciso considerar que os valores indicativos sejam altos.

- [2] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). HPFF cable leak location using per fluorocarbon tracers. TR-109086 7905-01, 1997, 135 p.
- [3] N. Dietz, G. I. SENUM. Detection of interstate liquids pipeline leaks: feasibility evaluation. Bnl-65970 – informal report, 1998, 14 p.
- [4] M. Fairhurst. Oil leak location methods of detection. National Grid. Heiser, J. et al. Long-term verification of cover systems using perfluorocarbon tracers. BNL-74670-2005-JA, 29 p., 2004.
- [5] Heiser, J. et al. Long-term verification of cover systems using perfluorocarbon tracers. BNL-74670-2005-JA, 29 p., 2004.
- [6] Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - Produto: ISCEON (R) MO89.
- [7] Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - Produto: HALOCARBONO 116.
- [8] Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico - Produto: PERFLUORPROPANO.
- [9] Relatório do Amarillo National Resource Center for Plutonium. Use of sulfur hexafluoride and perfluorocarbon tracers in plutonium storage containers for leak detection. ANRCP-1998-4, 1998, 80 p.
- [10] T. Sullivan et al. Use of perfluorocarbon tracer (PFT) technology for subsurface barrier integrity verification at the Waldo test site. Informal Report, 1999, 24 p.
- [11] A. Croucher, EDF Energy Networks. The Future of Cable Leak Location. ENA-EA Joint FFC Workshop, 2008.
- [12] Houssoun S. et al. Development of perfluorocarbon tracer technology for underground leak location. J. Environ. Monit., vol. 2, 432-435, 2000.
- [13] Goodwin, R.H. An innovative method for finding leaks in oil filled high voltage cables. Conference on Power Cables "CABLE TECH 2010" – 25 & 26 Nov., 2010
- [14] R. Ghafurian, et al. Leak location in fluid filled cables using the PFT method. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 14, n. 1, 18-22, 1999.
- [15] Maxfield, B. T. et al. Evaluation of fluorocarbon tracer retention in dry and wet sand column tests, 2001, 13 p.
- [16] J. Heiser et al. Using gaseous perfluorocarbon tracers to characterize leak pathways in the bellow grade ducts of the brookhaven graphite research reactor. WM'01 Conference, 2001.
- [17] Mike Fairhurst, Patrick Keelan - PFT - Non-Intrusive Oil Filled Cable Leak Location - JICABLE 2011
- [18] Tarcísio M. de Lima, José Aquiles Baesso Grimoni, Sylvio Bistafa Jorge Luís Porsani, "Desenvolvimento de um sistema de localização de falhas das capas plásticas e vazamentos de óleo em cabos subterrâneos", V CITENEL, 2009

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tracer Detection Technology Corp. Identification and testing of available sensors for the detection of per fluorocarbon. Relatório final, n. 197719, 2002, 15 p.2.