

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Proteção contra surtos em juntas isolantes de dutos com proteção catódica **Fábio F. Barros^a, João P. K. Gervásio^b, Marco A. Chaves^a, Wagner A. Barbosa^a**

Abstract

Along the recent years, the scientific community has discussed a lot about the impacts of global warming. Among all the changes already observed, the keraunic level has increased mainly in tropical regions. Transport companies with fluids distribution of any kind, which might have buried metallic pipelines with cathodic protection, have had joint carbonization insulation problems due to direct lightning strikes near or straight onto these ducts. As for the lack of standards and procedures for implementing recommendations of surge protection devices for pipelines, this essay aims to present practical studies relating to a standard duct strength used in the distribution of natural gas when subjected to voltage impulses and present the different technologies that can be used for insulation protection joints against surges, as well as basic installation procedures to ensure the efficiency of lightning protection.

Keywords: surge protection, duct strength, protection technologies, installation procedures.”

Resumo

Nos últimos anos a comunidade científica tem discutido bastante sobre os impactos do aquecimento global. Dentre as alterações já observadas, está o aumento da atividade cerâmica, principalmente nas regiões tropicais. Empresas de transporte e distribuição de fluidos de qualquer natureza, que possuem dutos metálicos enterrados com proteção catódica, têm tido problemas de carbonização de juntas de isolamento em função de descargas atmosféricas próximas ou diretas nos dutos. Considerando a falta de normas, com procedimentos e recomendações de aplicação de dispositivos de proteção contra surtos para dutos; este trabalho tem como objetivo apresentar estudos práticos, relativos à suportabilidade de duto padrão utilizado na distribuição de gás natural, quando submetido à sobretensões impulsivas, apresentar as diferentes tecnologias que podem ser utilizadas para proteção contra surtos das juntas de isolamento bem como procedimentos básicos de instalação para garantir a eficiência da proteção contra raios.

Palavras-chave: proteção contra surtos, suportabilidade, juntas de isolamento, tecnologias de proteção, procedimentos de instalação.

Introdução

O uso de dutos para a condução de óleos e gases combustíveis requer uma série de cuidados especiais, seja devido às características das instalações ou à inflamabilidade do que é transportado.

^a Engenheiro Eletricista – CLAMPER INDÚSTRIA E COMÉRCIO S. A.

^b Engenheiro Eletricista – PETROBRAS

As instalações são realizadas em meio terrestre ou submarino. Abordaremos, especificamente, o primeiro tipo. As grandes extensões de dutos favorecem a exposição destes às descargas atmosféricas. A instalação desses dutos sob linhas de transmissão os sujeita às faltas desses sistemas bem como à indução de corrente alternada em regime permanente.

Assim, o uso de protetores contra surtos elétricos, além de importante devido às inúmeras causas que cercam o sistema, está associado a uma escolha cuidadosa da tecnologia que será utilizada. Essa escolha deve ser realizada visando compatibilizar o uso desse protetor aos níveis de proteção necessários ao sistema de dutos, os tipos de surtos elétricos que poderão atingir esse sistema, a intensidade desses surtos e o correto funcionamento do sistema de proteção catódica. Somente a inflamabilidade dos combustíveis já exigiria o uso de protetores com características especiais.

Abordando os diversos aspectos associados à escolha do protetor, esse trabalho traz informações que norteiam o instalador de dutos, apresentando a relação das tecnologias e os problemas a serem solucionados, incluindo dados empíricos às soluções de instalação.

O protetor para os dutos de combustíveis

A capacidade do dispositivo de proteção

A grande exposição das dutovias e o cuidado com o material transportado por elas já remete à necessidade do uso de protetores de alta capacidade.

Não obstante, a capacidade do dispositivo está vinculada à sua durabilidade. Dispositivos de baixa durabilidade devem ser substituídos com maior frequência e a manutenção, em questão, exige mão de obra especializada e o atendimento a uma região extensa.

No Brasil a incidência de raios tem aumentado significativamente nos últimos anos. Conforme pesquisas do INPE, foi constatado um aumento de 11 % na quantidade de raios em cidades com mais de 200 mil habitantes. Nos anos mais recentes, no Brasil, o ranking das cidades com maior incidência de raios (8) aponta nos primeiros lugares cidades como Porto Real – RJ (com 27 raios/ km².ano) e São Caetano do Sul – SP (com 22,8 raios/ km².ano), cidades situadas dentro da região mais urbanizada do país. As pesquisas constataram que o aumento das densidades de descargas atmosféricas tem relação com a taxa de urbanização.

Portanto, o mapa de grau de urbanização brasileiro (Figura 1) pode ser considerado um bom parâmetro para que se preveja onde haverá grande probabilidade de incidência de raios.

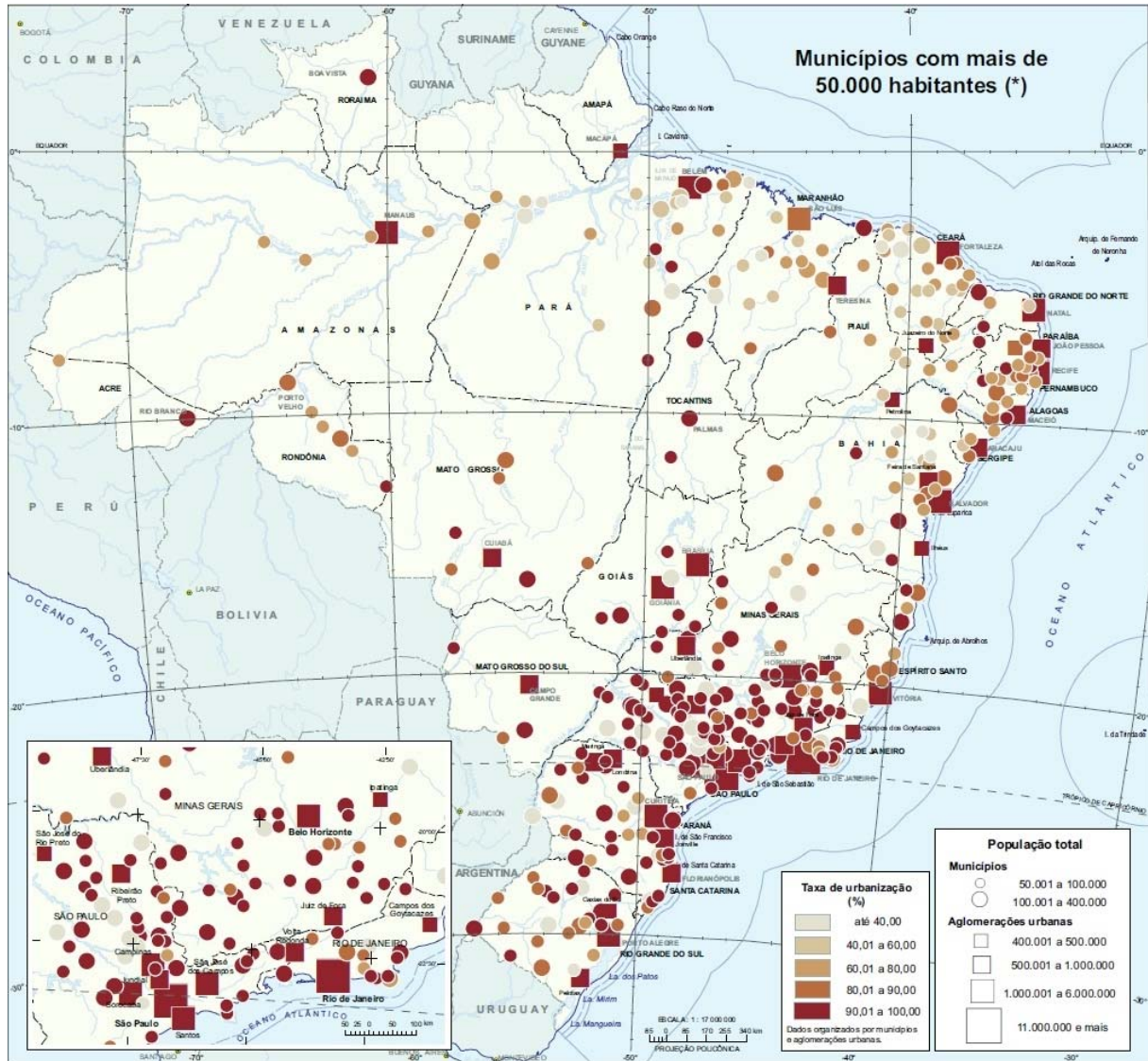


Figura 1 - Mapa da taxa de urbanização brasileira (fonte: IBGE - 2007).

Não por acaso, as dutovias estão entre as regiões mais urbanizadas e entre essas e os centros produtores de gás e petróleo (Figura 2). Ou seja, além da grande presença de dutos em regiões muito urbanizadas, há dutovias que passam pelo centro-oeste brasileiro devido à presença de grandes produtores de gás natural no centro da América do Sul (como na Bolívia).



Figura 2 - Mapa das dutovias do Brasil sobreposto ao de grandes linhas de transmissão de energia (fonte: PETROBRAS - 2011).

A sobreposição dos dois mapas, da Figura 1 e da Figura 2, mostra a correlação entre os índices de urbanização e a presença de dutos.

Os indícios que pedem o uso de protetores contra surtos de alta capacidade são bastante evidentes.

A atmosfera explosiva

As normas ABNT NBR IEC 60079-0: 2008 (4), ABNT NBR IEC 60079-18: 2010 (5) e ABNT NBR IEC 60529: 2009 (6) impõem características básicas para os protetores a serem utilizados em dutos de combustíveis no Brasil.

Os protetores são instalados externamente aos dutos em local que poderá, eventualmente, ter a presença de mistura explosiva. Assim, o produto deverá ser classificado para uso na definida “ZONA 2”, na mais exigente das hipóteses.

A explosão de um componente interno ao protetor deverá ser contida pelo seu invólucro. Portanto, o produto será classificado como “Ex d”.

O material a ser transportado deve ser levado em consideração para a classificação da adequação do uso do protetor junto aos grupos de materiais em ambientes de superfície ou subterrâneos (nesse caso, os grupos são classificados como I – subterrâneo -, IIA, IIB e IIC, respectivamente, conforme a maior propensão à explosão em instalações de superfície).

Considerando o uso do dispositivo de proteção em ambientes abertos, sujeitos à ação de umidade e corrosão, o acondicionamento de grau IP-66 é importante, também, para a manutenção das demais características de segurança.

Os protetores contra surtos elétricos são, normalmente, dispositivos passivos. Atuando no processo de supressão de surtos transitórios ou no desvio de corrente induzida, eles não se aquecem consideravelmente. Isso porque eles possuem grande capacidade de corrente, permitindo, portanto, serem classificados na mais alta classe de temperatura: “T6”. Ou seja, é comum que, em condições normais de operação, os protetores contra surtos elétricos não ultrapassem a temperatura de 85 °C.

A proteção contra corrosão

Nos sistemas de dutos o uso de técnicas de proteção, anticorrosão, catódica é intensamente realizado. A isolamento das juntas é fundamental para o correto funcionamento dos sistemas de proteção catódica.

É comum existirem grandes extensões de dutos sobre o solo, muitas vezes sob linhas de transmissão, e esses dutos são compostos por tubos isolados, assim, a ocorrência de indução de tensão pode ser um fenômeno importante. O protetor poderá, ou não, oferecer um desvio seguro para correntes induzidas, proporcionando, inclusive, a redução da tensão induzida entre o duto e o potencial de terra. Essa redução de tensão é importante para a segurança do operador de manutenção e pode, inclusive, contribuir com o sistema de proteção catódica.

Nesse caso, o protetor deverá manter a isolamento das juntas isolantes ou promover o aterramento da tubulação por meio de dispositivos com tensão de bloqueio adequada. Entenda por tensão adequada aquela que permita a passagem de correntes induzidas, ou de surtos elétricos, mas não permita que a tensão em corrente contínua do sistema de proteção catódica seja reduzida, porque o protetor somente permite a passagem de correntes associadas a tensões superiores à do sistema de proteção catódica.

Protetores com essas características (Figura 3), que combinam a função de retificação e supressão de surtos elétricos de alta intensidade, são mais onerosos do que aqueles associados, unicamente, à supressão dos surtos. Esse tipo de utilização permite que eles sejam, também, chamados de células de polarização.



Figura 3 – Exemplo de dispositivo de proteção baseado no uso de diodos de retificação de alta capacidade de corrente (fonte: Clamper - 2011).

O nível de proteção do protetor elétrico

Nesta seção, entenda por nível de proteção a tensão máxima sobre o protetor quando o sistema é atingido por um surto elétrico. O nível de proteção sobre o sistema protegido poderá ser consideravelmente diferente, como veremos em uma das próximas seções.

O nível de proteção é determinado nas condições de capacidade nominal de corrente do protetor. Para dispositivos baseados no uso de diodos de supressão e varistores as tensões residuais devem ser consideradas. Elas não aumentam muito com a intensidade de corrente e, normalmente, são bem definidas. No caso de um centelhador, a sua tensão de disparo sob impulso deverá ser considerada. Essa tensão possui uma variabilidade maior para uma mesma intensidade de surto e é dependente da velocidade de atuação do dispositivo.

É desejável que esse nível seja o mais baixo possível, mas é também mais oneroso utilizar as tecnologias de proteção que permitem garantir esses níveis mais baixos. Além disso, a relação entre o nível de proteção oferecido e a capacidade de uma determinada tecnologia de proteção é, normalmente, inversamente proporcional.

Por outro lado, a análise a respeito deve partir do equipamento que será protegido. No caso presente, trata-se da junta isolante. A proteção de isolantes elétricos não requer uma preocupação especial com o nível de proteção, ou seja, níveis de proteção altos são admissíveis. Essa característica está em consonância com a necessidade de alta capacidade do protetor, o que facilita a escolha da tecnologia de proteção.

As características citadas induzem ao uso de dispositivos baseados em centelhadores a gás. Relativamente, esses dispositivos possuem níveis de proteção mais altos do que os dos diodos de supressão e os varistores, mas possuem grande capacidade de corrente e um custo relativo mais baixo.

A tensão suportável de juntas isolantes

Há recomendações que pedem, para juntas isolantes em dutos protegidos catodicamente, que a tensão suportável das juntas seja superior a 5 kV. Particularmente, citamos a prática atual da PETROBRAS (3).

Nas dutovias são encontradas juntas convencionais, baseadas no uso de flanges, e juntas isolantes monobloco. Ambas as tecnologias usam isolantes com rigidez dielétrica superior a 5 kV, mas o que determina a tensão suportável das juntas é a configuração geométrica e as irregularidades que influenciam a configuração de isolamento. Essas irregularidades devem ser estudadas caso a caso.

As juntas monobloco (Figura 4) são menos associadas a falhas de isolamento. Embora, normalmente, possuam isolante a base de resina, com uma espessura considerável (5 mm, por exemplo), o isolamento poderá ter as suas características dielétricas prejudicadas com inadequações no revestimento dos dutos (Figura 5). A utilização de uma tinta a base de resina isolante, como primeira camada de revestimento do duto, e as irregularidades dessa camada definirão a tensão suportável dessa junta.



Figura 4 - Corte longitudinal de uma junta isolante monobloco (fonte: GASMIG - 2011).



Figura 5 - Junta isolante monobloco danificada (fonte: GASMIG - 2011).

A maioria dos danos em juntas ocorre naquelas baseadas no uso de flanges. Nesse caso, a isolamento dos parafusos e dos dutos é realizada de forma padronizada. São utilizadas luvas isolantes para os parafusos. Arruelas do mesmo material são usadas entre as arruelas metálicas (que ficam junto às porcas de fixação) e o duto. Entre os dutos, esse material isolante e borrachas de vedação são empregados. O material isolante dessas luvas é, normalmente, resina fenólica, ou em polietileno, reforçada em tecido de algodão (2).

Difícilmente podem ser reproduzidas todas as variabilidades no isolamento dos flanges em laboratório. Há a influência climática, corrosiva, do vandalismo, etc. Entretanto, é comum os fabricantes dos materiais isolantes informarem que, para juntas adequadamente montadas, a tensão suportável seja superior a 6 kV.

A Figura 6, a seguir, apresenta a foto de uma junta com flanges isolados danificada. Nota-se que houve disrupção na luva isolante que envolvia o parafuso.



Figura 6 - Junta com flanges isolados, danificada por surto elétrico (fonte: GASMIG - 2011).

Medições realizadas em laboratório apresentaram disrupções do ar, iniciadas na superfície das luvas isolantes sob as arruelas de isolamento, em juntas com flanges. Não foram constatadas disrupções em tensões inferiores a 6 kV, tanto em juntas monobloco quanto em juntas com flanges.

Análise do nível de proteção sobre as juntas isolantes

O nível de proteção sobre a junta

Para a análise da adequação de um protetor ao sistema protegido, não basta indicar o componente de proteção adequado ao sistema suficientemente conhecido. A instalação do dispositivo também possui grande importância.

Por via de regra, o protetor deve ser instalado o mais próximo possível do local que será protegido. Considerando uma junta isolante, o circuito que compreende essa junta e o protetor inclui, também, os cabos, entre o protetor e os tubos isolados, e os trechos de tubo até o isolante (Figura 7).

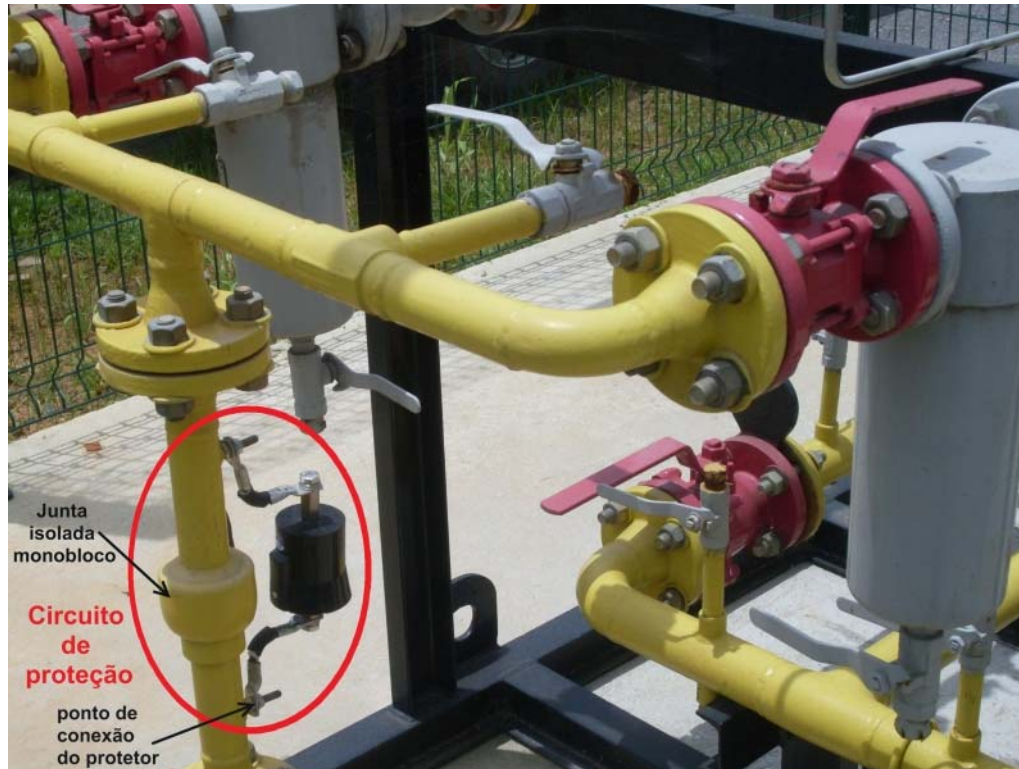


Figura 7 - O circuito de instalação do protetor contra surtos elétricos (fonte: GASMIG - 2011).

Fatores diferenciados contribuirão com o acréscimo de tensão ao nível de proteção efetivo da instalação de proteção sobre a junta. Dentre esses fatores está o nível de proteção do protetor contra surtos, a resistência total das conexões e cabos entre os dutos e esse protetor e a indutância do enlace do circuito de proteção.

Os protetores contra surtos elétricos têm o seu nível de proteção especificado pelo fabricante. No caso que analisamos, o nível de proteção do protetor poderá ser muito pequeno em relação aos possíveis ruídos do circuito de instalação.

A resistência total dos cabos e conexões entre os dutos e o protetor nem sempre poderá ser desprezada; as intensidades de corrente, que podem ser consideradas, são muito altas. Por exemplo, se considerarmos surtos de corrente de 100 kA e uma resistência total de, apenas, 1 m Ω ; 100 V poderão ser acrescidos ao nível de proteção.

Considerando os cabos até o protetor e o comprimento dos dutos até a junta isolante, a variação do campo magnético, gerado pelo surto de corrente, na área enlaçada por esse circuito, será responsável por gerar um acréscimo considerável de tensão no nível de proteção sobre o isolante. As descargas atmosféricas são caracterizadas por possuírem um amplo espectro de frequências e altas taxas de variação de campo devem ser consideradas.

Metodologia para uma análise experimental do nível de proteção sobre uma junta isolante

Foram realizadas medições de tensão considerando o circuito de proteção descrito, com diferentes comprimentos, e as tensões de proteção efetivas foram tabeladas junto a esses comprimentos.

Os testes foram realizados com um protetor baseado no uso de centelhador a gás de alta capacidade, desenvolvido para o propósito de proteção de juntas isolantes em áreas classificadas (Figura 8).



Figura 8 - Dispositivo de proteção contra surtos, baseado no uso de centelhador a gás, utilizado nos testes (fonte: Clamper - 2011).

Dois cabos de mesmo comprimento foram considerados entre os pontos de aplicação do surto e o protetor (a área de secção reta dos cabos utilizados foi de 10 mm^2). Nesse caso, os pontos de aplicação do surto correspondem aos pontos de conexão dos dutos para o protetor.

Para considerar os trechos de dutos, entre os pontos de conexão para o protetor e a junta isolante, foram utilizados cabos de bitola inferior, mas com o mesmo comprimento dos cabos entre os pontos de conexão e os protetores.

Dessa forma, o comprimento total do circuito de instalação (L) que é mencionado, desconsidera o comprimento do protetor (que, nesse caso, foi de $10,5 \text{ cm}$) e o comprimento do circuito de medição. O comprimento total do circuito de proteção mencionado (L) é, portanto, quatro vezes maior que o comprimento de um dos dois cabos utilizados para conectar o protetor, mas o comprimento real inclui o do protetor e o do sistema de medição.

Os testes realizados consideram, como especificação nominal de capacidade do dispositivo, 100 kA na forma de onda $(8/20) \mu\text{s}$. Essa é uma recomendação que tem sido empregada pela PETROBRAS (3).

As aplicações de surtos de corrente foram realizadas no laboratório de desenvolvimento de produtos da Clamper Indústria e Comércio S. A. com um gerador de perturbação eletromagnética que atinge 100 kA em forma de onda $(8/20) \mu\text{s}$.

As formas de onda aplicadas foram influenciadas pela indutância do circuito sob teste. Na pior das condições, a variação mais alta a ser considerada é associada ao tempo de subida da forma de onda. Esse tempo subiu menos do que 4 μs entre a aplicação com o menor e o maior circuito de proteção. Para que o efeito sobre a forma de onda aplicada não fosse ainda mais intenso, foram feitos ajustes da tensão de carga do gerador para manter o pico de corrente bastante próximo a 100 kA. Dessa forma, os testes realizados nos circuitos de maior comprimento consideraram o emprego de mais energia, mas a frequência que determinou o pico de tensão medido foi, relativamente, inferior àquela que determinou o pico de tensão dos menores circuitos de proteção. Portanto, os picos de tensão medidos deveriam ser maiores para os circuitos de maior comprimento.

Outro fator que contribui para uma atribuição de incerteza dos valores medidos é a variabilidade da área enlaçada pelo circuito de proteção. Para padronizar os resultados, os cabos utilizados para simular o comprimento de tubo entre os pontos de conexão do protetor e a junta isolante foram, nos testes realizados, acomodados, paralelamente aos cabos de conexão do protetor, a uma distância inferior a 3 cm.

Resultados e discussão

Os valores de tensão medidos (Tabela 1) mostraram um claro crescimento da tensão de proteção com o comprimento total do enlace, sem exceções.

Ficou evidente a pequena influência da tensão de disparo do dispositivo de proteção em relação ao efeito do comprimento do circuito de proteção.

Todas as curvas de tensão obtidas são geradas pela indutância do enlace (Figura 9). Elas mostram que as tensões medidas representam a taxa de variação da corrente aplicada.

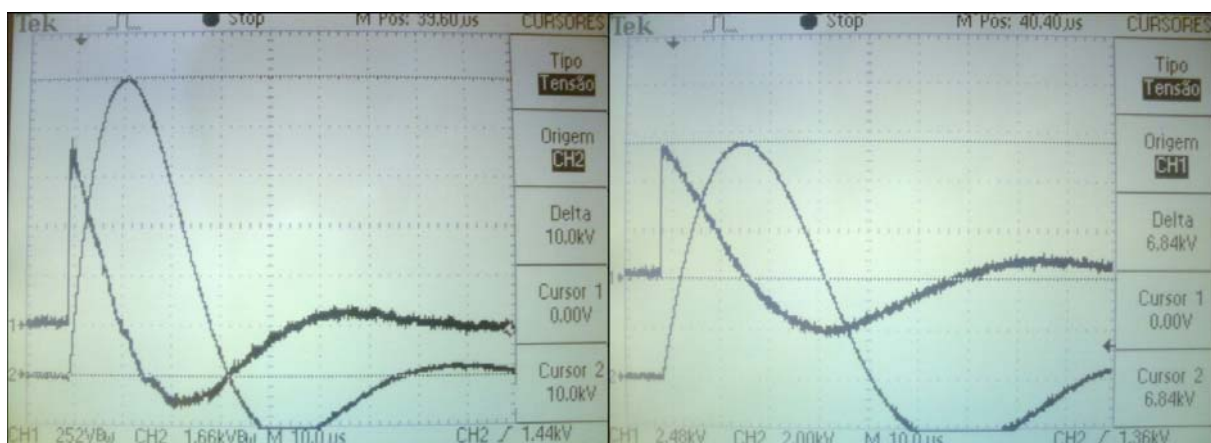


Figura 9 - Amostras dos oscilogramas de corrente (CH2) e tensão (CH1). Nas medições do canal 2, 1 kV corresponde a 10 kA. O pico de corrente medido, à esquerda, é de 100 kA e o pico de tensão medido, à direita, é de 6,8 kV.

Como as medições foram realizadas em condições de enlace favoráveis (vide o último parágrafo da seção anterior), recomenda-se utilizar um comprimento total de enlace inferior a 1 m (sendo, 50 cm o comprimento total dos cabos de ligação do protetor). Embora tenhamos obtido um valor de tensão de proteção inferior a 5 kV, para esse comprimento de enlace, devemos considerar, além da variabilidade da área enlaçada, que o sistema poderá ser atingido

por surtos de intensidade superior à nominal considerada (100 kA), inclusive, considerando frequências superiores. Além disso, há o efeito de redução da frequência nas formas de onda aplicadas aos circuitos de maior comprimento.

Tabela 1 - Análise empírica de enlace de proteção

Principal componente do circuito associado à proteção	Intensidade do surto de corrente	Comprimento total do enlace	Tensão de proteção
	[I _n] kA	[L] m	[U _{prot}] kV
Curto-circuito	100,0	*	0,9
	97,6	*	0,9
Dispositivo baseado no uso de centelhador a gás (GDT)	100,0	0,20	2,0
	97,7	0,40	2,5
	100,0	0,60	3,2
	98,4	0,80	4,0
	98,4	0,92	4,5
	99,2	1,20	4,7
	96,0	1,40	6,0
	96,0	1,60	6,8

* Comprimento do circuito de medição.

Conclusões

O uso de protetores contra sobretensões transitórias em juntas isolantes é fundamental devido à alta exposição dos dutos de transporte de combustíveis a surtos elétricos.

Os protetores devem ser adequados ao uso em áreas classificadas.

Dispositivos baseados no uso de centelhadores a gás são muito adequados para o atendimento às altas capacidades de corrente que são exigidas. Eles oferecem uma ótima relação entre custo e benefício. Entretanto, em algumas situações, quando há grande ocorrência de tensão induzida em regime permanente, é interessante a utilização de dispositivos baseados no uso de diodos de alta capacidade.

Embora não sejam requeridos protetores com nível de proteção muito baixo, eles devem ser instalados como componentes do menor circuito de proteção possível, pois, o comprimento desse circuito determinará o nível de proteção sobre a junta.

Referências bibliográficas

- (1) JORDÃO, D. M.; **Manual de Instalações Elétricas em Indústrias Químicas, Petroquímicas e de Petróleo – Atmosferas Explosivas – 3º Edição**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002. p. 36-37, 69-72, 170, 416-417, 755-759, 764, 769, 774-775.

- (2) VEIGA, J. C. C.; **Juntas Industriais** - 5º edição. Rio de Janeiro: Teadit Indústria e Comércio, 2008. v. 1. 1236 p.
- (3) PETROBRAS N-2298 - **Proteção Catódica de Dutos Terrestres** - Revisão B, 2011.
- (4) ABNT NBR IEC 60079-0: **Atmosferas explosivas – Parte 0: Equipamentos – Requisitos gerais**, 2008.
- (5) ABNT NBR IEC 60079-18: **Atmosferas Explosivas – Parte 18: Proteção de equipamento por encapsulamento “m”**, 2010.
- (6) ABNT NBR IEC 60529: **Grau de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (código IP)**, 2009.
- (7) IEC 61643-11: **Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems Requirements and tests**, Ed. 1, março de 2011.
- (8) ELAT – INPE; **Ranking Geral da Densidade de Descargas Atmosféricas por Município – biênio 2009 – 2010**.