

ENCONTRO TÉCNICO DO GLP 2012

SÃO PAULO, 05 E 06 DE DEZEMBRO DE 2012

TRABALHO

Utilização da Técnica de Emissão Acústica na Adequação à NR-13 de Vasos de Pressão Enterrados e Aéreos no Armazenamento e Distribuição de GLP da SUPERGASBRAS

AUTORES

1 - Alexandre José Barreto Serra – Gerente Técnico de Vendas a Granel da SUPERGASBRAS, formado em 1989 em Engenharia Mecânica pela FEI, Faculdade de Engenharia Industrial, SP

2 – Jorge dos Santos Pereira Filho – Diretor de Engenharia da PASA, formado em 1979 em Engenharia Mecânica pela UFBA, Mestrado em 2004 pela UFSC.

CATEGORIA

S.S.M.A

Utilização da Técnica de Emissão Acústica na Adequação à NR-13 de Vasos de Pressão Enterrados e Aéreos no Armazenamento e Distribuição de GLP da SUPERGASBRAS

Histórico das Empresas Envolvidas

São relatados os trabalhos de inspeção para adequação à NR-13 de vasos de pressão enterrados e aéreos, esferas e tanques para o armazenamento e distribuição de GLP em mais de 22 localidades e bases no Brasil. A empresa PASA – Physical Acoustics South America LTDA. foi contratada pela **SUPERGASBRAS** para efetuar estes trabalhos ao longo de mais de 10 anos. As duas empresas envolvidas nestes trabalhos estão a seguir qualificadas.

SUPERGASBRAS

A SUPERGASBRAS pertence ao Grupo SHV que surgiu em 1896, na Holanda, da junção de grandes empresas de carvão, algumas das quais em operação desde o século XVIII.

A SUPERGASBRAS responde por cerca de 23% do mercado brasileiro de Gás LP, com um volume anual comercializado de aproximadamente 1,5 milhão de toneladas atendendo a cerca de 16 mil postos de vendas distribuídos por todo o Brasil, além de 4 milhões de famílias brasileiras e mais de 30 mil clientes industriais e comerciais, contando com uma forte infra estrutura no abastecimento formada por vinte e nove de distribuição de Gás LP a granel por todo o Brasil e uma moderna frota de veículos auto-tanques próprios para a distribuição do produto.

A empresa no mundo possui 50.000 funcionários.

A SUPERGASBRAS atua a mais de 50 anos no mercado brasileiro de distribuição e comercialização do Gás Liquefeito de Petróleo (Gás LP).

Como subsidiária do grupo multinacional SHV Energy, maior empresa privada deste ramo de atividade no mundo, a SUPERGASBRAS possui como seu principal diferencial as inovações tecnológicas desenvolvidas no mundo e as disponibiliza à seus clientes de acordo com suas necessidades.

As operações da SUPERGASBRAS são reconhecidas desde 1991 através de entidades como a Associação Brasileira de Prevenção de Acidentes (ABPA), como Empresa padrão em segurança no segmento de distribuição de GÁS LP, este importante prêmio avalia as condições de segurança das instalações, equipamentos, peças além do treinamento específico de funcionários da empresa, comprovando a eficiência, segurança e qualidade de nossas instalações.

A SUPERGASBRAS possui certificação de seu Sistema da Qualidade segundo a NBR ISO 9001:2008 englobando os processos de negociação, montagem e abastecimento de clientes, DESDE 2006.



PASA

A PASA (Physical Acoustics South America), fundada em março de 1996, sob controle acionário do grupo Mistras com sede em Princeton, USA, teve como elemento motivador na sua criação a visão de uma empresa dedicada a disponibilizar para o mercado da América do Sul, tecnologia e soluções na área de inspeção e integridade de equipamentos industriais.

O foco da PASA é o fornecimento de serviços com técnicas não-convencionais de ensaios não destrutivos, que através do emprego de tecnologias avançadas nas áreas de emissão acústica, ultrassom, eddy current e fluxo magnético, dentre outras, permitam a realização de avaliações de integridade em equipamentos industriais sempre em menores prazos, com maior rapidez e menores custos e impactos à operação. O ensaio de emissão acústica (EA), considerado neste trabalho, é o maior exemplo desta orientação da empresa, para o fornecimento de soluções de engenharia de elevado valor agregado.

A PASA é uma empresa de soluções globais, atendendo às necessidades de engenharia de inspeção e integridade de forma completa e cada vez mais presente no mercado da América do Sul. Conta ainda com um sistema integrado de gestão através das certificações ISO 9001 (2000), ISO 14001 (2004) e OHSAS 18001 (1999), certificações conseguidas desde Janeiro de 2007. Foi a primeira empresa nacional do ramo acreditada pelo INMETRO, conforme os requisitos da ISO 17020:2006, constituindo isto uma expressão formal de reconhecimento de sua competência nas áreas de emissão acústica e ultrassom.



Introdução ao Problema e Soluções

A necessidade de realizar inspeções em um enorme parque de equipamentos de armazenamento e distribuição de GLP em várias regiões do Brasil, para o atendimento aos clientes e aos requisitos da NR-13, sem que isto forçasse a retirada de serviço dos mesmos foram os maiores desafios e motivações encontradas pela SUPERGASBRAS. Isto norteou a escolha da técnica de emissão acústica (EA) como ferramenta básica e à execução dos trabalhos de inspeção que se seguiram. As formas tradicionais de inspeção requerem a visualização das superfícies interna e externa dos vasos de pressão, significando a parada operacional para a liberação e o adentramento. Para os vasos enterrados ou então aqueles que não possuem acesso interno, estas atividades devem ser substituídas por testes hidrostáticos (TH's), que por sua vez possuem muitos inconvenientes, conforme relacionados a seguir:

- 1) Obrigatoriedade da parada operacional para introdução do fluido de teste (normalmente a água) e a pressurização;
- 2) Necessidade de encontrar uma fonte de suprimento da água, especialmente para os vasos que se encontram fora das bases da SUPERGASBRAS;
- 3) Necessidade de recolhimento desta água utilizada no teste hidrostático para tratamento e descarte, de modo a não impactar no meio ambiente;
- 4) Possível efeito nocivo do TH em descontinuidades existentes, que possam apresentar o crescimento subcrítico durante a pressurização. Na ocorrência deste fenômeno, o equipamento pode retornar ao serviço em pior situação que estava antes da aplicação do TH.

Uma inspeção em vasos de pressão ou equipamentos de forma geral requer cuidados relacionados à escolha das técnicas não destrutivas aplicáveis. Normalmente são buscados dois tipos de danos que podem ocorrer com a operação do equipamento:

- **Afinamentos**, que são reduções de espessura e resultam na perda volumétrica de material, estando geralmente associados aos processos de corrosão; os afinamentos podem levar a vazamentos localizados de produto, e em casos extremos o colapso do equipamento.

- **Trincamentos**, que são descontinuidades planares sem perda significativa de material e podem resultar em propagação e vazamentos, estando relacionados a fenômenos como a fadiga e a corrosão sob tensão; em casos extremos, os trincamentos também podem levar ao colapso do equipamento.

A escolha do ensaio de emissão acústica (EA) deu-se pela sua característica relacionada à identificação de descontinuidades planares e à sua abrangência, por ser um ensaio global que cobre 100% da estrutura. Em outras palavras, o que a EA resulta é na localização de trincas que estejam “querendo” se propagar durante a pressurização ou que eventualmente estejam em propagação. É um ensaio adequado para identificar e localizar trincas de fadiga e de corrosão sob tensão apenas com a pressurização de 5 a 10% sobre a pressão operacional, o que pode ser realizado na condição de serviço. Não se aplica a localizar regiões com afinamentos, e por este motivo deve ser complementada por ensaio de medição de espessuras tradicional.

A alternativa de realizar estas inspeções com a aplicação do ensaio de EA permite os seguintes ganhos:

- 1) Não há necessidade de retirada do equipamento de serviço.
- 2) Requer-se apenas a sua pressurização com o próprio produto como fluido de teste, em valores de 5 a 10% acima da máxima pressão operacional (conforme já dito), o que pode ser conseguido com alguma facilidade através da utilização de uma bomba portátil.
- 3) Na ocorrência de alguma propagação durante a pressurização, será possível localizar a região e mapeá-la para inspeção complementar. Isto torna a pressurização segura e permite a localização de áreas ditas “ativas” que merecem alguma investigação. Diferentemente do ensaio de EA, no TH tradicional, as propagações que ocorram sem que haja vazamentos não serão identificadas.
- 4) Por ser uma pressurização com produto líquido/gás, enquadra-se no requisito da NR-13, que permite a utilização de uma prova de carga pneumática.
- 5) É um ensaio global que cobre todas as superfícies pressurizadas, diferentemente da maioria das técnicas que são de aplicação localizada. Por este motivo não se torna necessária a escavação completa do equipamento.
- 6) Caso sejam encontradas áreas “ativas”, elas serão certamente reduzidas e as inspeções complementares terão uma maior chance de encontrar descontinuidades; na eventualidade de não serem encontradas áreas ativas, o equipamento estará automaticamente aprovado por esta metodologia.

O ensaio de EA resulta numa avaliação de quaisquer fenômenos relacionados à propagação de descontinuidades do tipo trinca, apenas durante a pressurização e com o próprio produto. Isto reduz grandemente o tempo e o custo da inspeção, aumentando a confiabilidade da intervenção.

Sobre a Propagação de Trincas e o Ensaio de Emissão Acústica

Descontinuidades com a característica de trincas podem existir em um equipamento ou estrutura. Muitas vezes elas são geradas nos processos de fabricação, em particular durante as operações de soldagem. Descontinuidades como falta de fusão ou falta de penetração são defeitos enquadrados como “tipo trinca” e, quando identificados na fabricação não são aceitos. Muitas vezes estas descontinuidades não identificadas na fabricação coexistem junto com os equipamentos e não se pronunciarão ao longo de sua vida, ou seja, serão estáveis. Isto porque passarão pelo primeiro teste hidrostático após a fabricação, que efetuará um relaxamento mecânico nas mesmas. Em casos muito particulares, estas descontinuidades poderão interagir com as condições operacionais do equipamento e se propagar, tornando-se perigosas e ameaçando a sua integridade.

Outra condição de perigo existe quando descontinuidades “tipo trinca” são geradas e crescem devido à condição operacional. São exemplos desta situação os fenômenos associados às vibrações mecânicas (fadiga mecânica), oscilações bruscas de temperatura (fadiga térmica) e a propagação induzida pelo meio corrosivo (corrosão sob tensão ou ataque pelo hidrogênio). Estas descontinuidades são as mais perigosas, pois poderão levar à falha caso não sejam identificadas e localizadas a tempo.

Como dito anteriormente, o ensaio de EA permite, durante a pressurização, a localização de descontinuidades que estão em processo de propagação. Isto faz com que após o ensaio, que dura poucas horas, seja possível afirmar se há alguma trinca em propagação ou não. Isto porque as descontinuidades que não se propagarem durante a pressurização não serão detectadas, pois serão estáveis e não se propagaram no teste ou virão a se propagar. Portanto o ensaio é rápido e localiza apenas as trincas que se propagam em serviço, o que se traduz em grande economia de tempo e recursos por que:

- 1) São indicadas pequenas áreas para inspeção com ultrassom ou partículas magnéticas.
- 2) Regiões que não possuem indicações não necessitam ser inspecionadas.
- 3) Descontinuidades de fabricação que sejam estáveis não serão reveladas e não necessitarão de ensaios complementares ou reparos.

Apenas como um parâmetro de comparação citamos a experiência de muitos anos atrás, quando a inspeção de uma esfera pelos métodos tradicionais levaria pelo menos dois meses, entre retirar de serviço, montar andaimes pelos dois lados, escovar as soldas e inspecioná-las com ultrassom e partículas magnéticas. Com o ensaio de EA, a inspeção para localização de áreas ativas dura dois dias no máximo, e em cerca de 85% das vezes não há áreas a serem inspecionadas complementarmente. Considere-se adicionalmente que no primeiro caso apenas as soldas eram avaliadas, enquanto que no ensaio por EA toda a estrutura (incluindo o material base) é inspecionada. A figura a seguir apresenta o aparato utilizado para a inspeção de uma esfera nos dias de hoje.



Figura 1 – Artigo de revista inglesa apresentando os ganhos da utilização da EA como técnica para a rápida inspeção de esferas de armazenamento: colocação de sensores com alpinismo e a pressurização com o próprio fluido, com pressão de 5 a 10% acima da pressão operacional. .

O ensaio de EA é também muito utilizado em tanques de armazenamento de GLP (“charutos”), e da mesma maneira que em esferas, a inspeção se dá com grande rapidez. São colocados sensores distribuídos na superfície, de modo regular e em passos triangulares, que são fixados

por prendedores magnéticos. A inspeção por EA atinge toda a superfície, tanto regiões de solda como material base (vide figura a seguir).



Figura 2 – Tanque de GLP preparado para teste com EA. Os sensores estão colocados de forma distribuída, em disposição triangular.

A experiência da PASA com esta técnica remonta há muitos anos. Desde a década de 1980, o ensaio de EA vem sendo aplicado no Brasil em vasos de pressão metálicos. O software de avaliação dos sinais de emissão acústica é denominado MONPAC® e traduz os sinais captados durante a pressurização do equipamento, através de sensores acústicos, em recomendações de inspeção a serem colocadas em prática. É baseado em num banco de dados de experiências em mais de 20.000 equipamentos. Verifica-se que quanto maior a atividade e a energia liberada durante o ensaio, maior é a necessidade de efetuar a inspeção complementar para caracterizar uma possível descontinuidade. Atribui-se por este critério de avaliação, o MONPAC®, letras que indicam a gravidade e importância dos sinais percebidos pelos sensores. Estas letras variam de **A** (condição menos grave) até **E** (condição mais grave), e o quadro abaixo mostra as recomendações que deverão ser atendidas:

INTENSIDADE	COR	AÇÃO RECOMENDADA
IRRELEVANTE	NENHUMA	NENHUMA AÇÃO RECOMENDADA
A	VERDE	NENHUMA AÇÃO RECOMENDADA
B	AZUL	REGISTRAR PARA REFERÊNCIAS EM FUTUROS MONITORAMENTOS
C	MAGENTA	NÍVEL DE ATENÇÃO; RECOMENDADO DIMINUIR INTERVALO ENTRE INSPEÇÕES
D	AMARELO	INDICAÇÃO DA PRESENÇA DE DEFEITOS. APLICAR END*
E	VERMELHO	PRESENÇA DE DEFEITOS SIGNIFICATIVOS; APLICAR END*

Figura 3 – Tabela de Classificação das Fontes de Emissão Acústica pelo Software MONPAC®

Complementarmente a este software, outro de localização planar ou espacial orienta para as regiões que deverão ser investigadas. Então, caso o ensaio resulte em fontes com intensidade Irrelevante, A, B ou C, não haverá necessidade de realizar inspeção complementar e o equipamento poderá continuar em serviço. No caso de haver fontes dos tipos D ou E, deverão ser aplicados ensaios (END's) complementares, pois há a possibilidade de haver descontinuidades "tipo trinca" relevantes. No primeiro momento, deverá ser verificada a possibilidade de aplicação de técnicas não destrutivas sem a necessidade de remoção do equipamento de serviço. Caso não seja possível efetuar esta avaliação em serviço, será recomendada a sua parada para inspeção. As figuras a seguir apresentam o resultado de um ensaio através do mapeamento de fontes de EA geradas na pressurização:

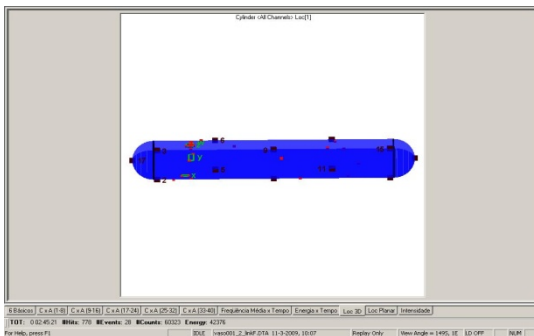


Figura 4 – Croqui do tanque ensaiado com EA e posição dos sensores

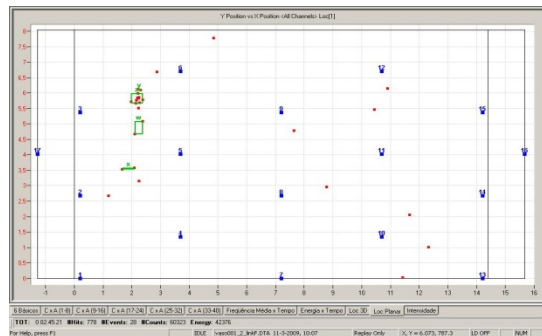


Figura 5 – Planificação do costado e mapeamento de regiões ativas

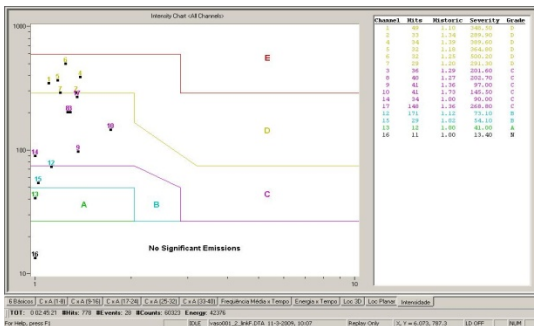


Figura 6 – Mapeamento dos sensores pelo método MONPAC®

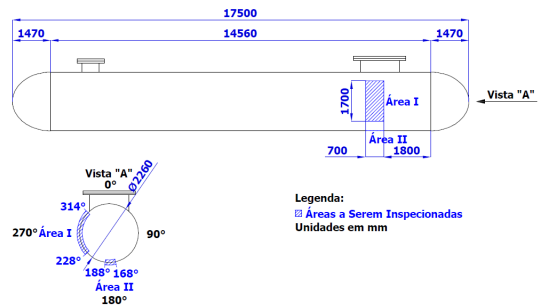


Figura 7 – Mapeamento de área a ser inspecionada

Em 2009 foram levantadas as estatísticas características de 15.000 ensaios de EA ao longo dos anos, em vasos de pressão localizados no Brasil e América do Sul, podendo ser resumidas no gráfico a seguir:

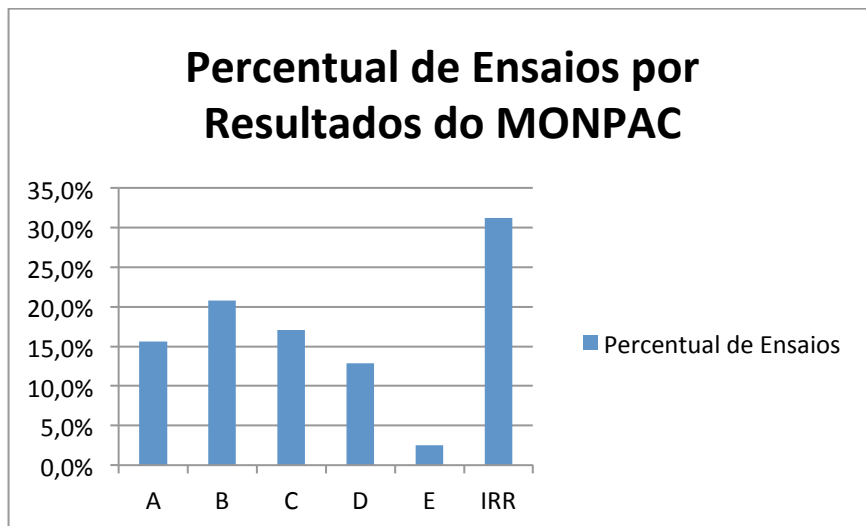


Figura 8– Resultados de 15.000 ensaios de EA utilizando a classificação do software MONPAC®

Verifica-se que do total de equipamentos inspecionados, apenas 15% (D+E) requereram inspeção complementar com ultrassom ou partículas magnéticas, significando uma grande redução de serviços adicionais e economia de recursos durante as inspeções. Em outras palavras, 85% destes equipamentos inspecionados não necessitaram de inspeções adicionais para sua requalificação, sendo este aspecto o que mais traduz as virtudes do ensaio de EA.

Danos em Equipamentos que Armazenam GLP

Equipamentos que armazenam GLP, em virtude das características operacionais, construção e fluidos com que operam, podem apresentar três tipos distintos de danos:

- **Fadiga mecânica**, por serem submetidos a carregamentos cíclicos de enchimento após terem sido esvaziados. Equipamentos de maior porte e responsabilidade devem ser projetados e fabricados para não desenvolver o fenômeno de fadiga. A fadiga mecânica se caracteriza pelo desenvolvimento de trincas superficiais e progressivas.

- **Corrosão sob Tensão**, devido à presença de agentes corrosivos derivados do enxofre, como o H₂S. Normalmente utiliza-se do alívio de tensões na fabricação para que não haja desenvolvimento deste dano, caso o agente sulfídrico esteja presente. A corrosão sob tensão se caracteriza pelo desenvolvimento de trincas superficiais internas e progressivas.

- **Afinamento pela Atmosfera**, pela na falha da película de pintura e em função da severidade da atmosfera (umidade, sais, sulfatos, etc.). Isto pode ser verificado pela inspeção visual externa.

- **Afinamento Interno**, em virtude da existência de umidade internamente, particularmente em regiões mais baixas que propiciem o seu acúmulo. Isto somente pode ser verificado pela medição de espessuras externamente e/ou acesso interno também com medição de espessuras.

- **Afinamento Externo (para vasos enterrados)**, ocorrendo na falha do revestimento externo e na ausência da proteção catódica.

Conforme citado, a combinação de ensaios de EA e de medição de espessuras são o modo ideal para verificar a ocorrência destes danos.

Levantamento dos Ensaios de Adequação à NR-13 em Equipamentos da SUPERGASBRAS desde 1998

Desde 1998 a PASA vem atendendo às solicitações da SUPERGASBRAS para inspeções de adequação à NR-13 com a utilização do ensaio de EA em vasos e equipamentos de GLP. Isto tem ocorrido tanto para vasos aéreos quanto para vasos enterrados. Complementarmente, foram ou são feitas inspeções visuais e medições de espessura por amostragem nestes equipamentos, para complementar o requisito relacionado à verificação do afinamento (perda de espessura). As fotos a seguir mostram alguns momentos da execução dos trabalhos:



Figura 9 – Escavação para inspeção em um vaso enterrado para colocação do sensor de EA na geratriz superior



Figura 10 – Carreta com tanque de GLP e bomba para a pressurização com 5 a 10% acima da pressão operacional

As tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos em cerca de 1084 inspeções realizadas em equipamentos diversos da SUPERGASBRAS no período citado:

Tabela 1 – Distribuição de Inspeção por Tipo de Equipamento

Número total de inspeções	1084
Número de inspeções em vasos de pressão	804
Número de inspeções em esferas	10
Número de inspeções em tanques	270

Considerando o número de ensaios realizados e a posição do equipamento em relação ao solo, temos:

Tabela 2 - Ensaios em Relação à Posição Relativa ao Solo

Vasos enterrados	EA+ME+IV	741
Vasos aéreos	ME+IV	154
Vasos aéreos	EA+ME+IV	173

onde,

EA – Emissão acústica (no caso dos vasos enterrados, pequena escavação ou descobrimento foi realizado para permitir o acesso à geratriz superior para a colocação de sensores e leitura do ensaio)

ME – Medição de espessuras (no caso dos vasos enterrados, pequena escavação ou descobrimento foi realizado para permitir o acesso à geratriz inferior para a medição de espessuras em parte do costado)

IV – Inspeção visual (no caso dos vasos enterrados, pequena escavação ou descobrimento foi realizado para permitir o acesso à geratriz superior e para a inspeção do revestimento e parte do costado)

Com respeito à localização e aos tipos de equipamentos inspecionados, temos:

Tabela 3 - Número de Bases e Quantitativos dos Equipamentos

Número de bases	22
Número de esferas inspecionadas	6
Número de vasos de pressão inspecionados	730
Número de tanques inspecionados	91
Equipamentos aéreos	157
Equipamentos enterrados	670
Total de equipamentos inspecionados	827

Considerando os resultados do ensaio de EA nos equipamentos da SUPERGASBRAS conforme a classificação MONPAC®, temos:

Tabela 4 - Resultado dos Ensaio de EA com MONPAC®

EA IRR (Irrelevante)	409	44,7%
EA A	247	27,0%
EA B	217	23,7%
EA C	32	3,5%
EA D	9	1,0%
EA E	0	0,0%
EA TOTAL	914	100,0%

Dos 914 ensaios de EA realizados em 827 equipamentos (o ensaio repetiu-se em alguns equipamentos neste período), apenas 9 (aproximadamente 1% do total) apresentaram fontes do tipo D ou E, com requisito de inspeção complementar. Em contrapartida, aproximadamente 99% dos vasos apresentou fontes tipo IRR (irrelevante), A, B ou C, sem que houvesse a necessidade de realização de ensaios complementares. Isto se traduziu em grande economia de recursos e de tempo de equipamento parado para efetuar testes hidrostáticos ou outras técnicas intrusivas. Associados aos ensaios de EA foram realizados o ensaio visual (IV) e o de

medição de espessuras. Nos ensaios de IV foram verificadas as condições físicas e os requisitos de adequação à NR-13. Em alguns equipamentos inspecionados foram feitas recomendações para adequação, como por exemplo, necessidade de confecção de prontos-para-usar, atualização de placas de identificação, etc.. Já nos ensaios de medição de espessuras (ME), foram encontrados desvios em cerca de 22% dos equipamentos, unicamente pela falta de rastreabilidade dos materiais utilizados, condição resolvida posteriormente pela adoção de especificação de materiais informada pela SUPERGASBRAS.

Conclusões

O extenso e complexo parque de equipamentos dos sistemas de armazenamento e distribuição de GLP possui grande urgência de manter-se em operação, tendo em vista as questões de logística e o atendimento às necessidades dos clientes. Contrapondo-se a isto, os requisitos de integridade e de atendimento à NR-13 obrigam à execução de programas de inspeção, que pela tradição se dariam pela aplicação de ensaios intrusivos ou que exigissem paradas operacionais. Há muitos anos a PASA realiza inspeções nestes equipamentos para a SUPERGASBRAS, utilizando da filosofia da mínima interferência operacional. Isto se aplicou tanto para os equipamentos aéreos quanto para os enterrados. Esta prática resultou em grande economia de recursos pela baixa interferência operacional, particularmente pela utilização do ensaio de emissão acústica. Os resultados apresentados na inspeção de 827 equipamentos demonstrou que apenas 9 deles, ou pouco mais de 1%, requereram inspeção complementar, e por este motivo esta técnica demonstrou ser muito valiosa. Como consequência, 99% foram aprovados no ensaio e requalificados para mais uma campanha sem que houvesse qualquer interferência operacional. Os ensaios de EA foram acompanhados de ensaios de medição de espessuras para permitir a devida complementação da inspeção.