
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

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

Monitoração e mitigação de produtos de corrosão interna em sistemas de transporte e distribuição de gás natural: visão geral, lacunas e oportunidades para pesquisa

Pedro Altoé Ferreira^a

Abstract

The oil and gas industry, in particular the pipeline industry, has faced decades of problems associated with the presence of solid particulates in natural gas compression, conveying and distribution systems.

Most of the problems are due to corrosion products, commonly referred to as "black powder", which originate during the construction phase or even during operation. Depending on the load of solids released, their impact may affect pressure reduction stations. Despite of the advances in terms of characterization there are still gaps for its mitigation.

The present work briefly reviews the problems and some achievements, and addresses some gaps to mitigate the presence of these particles originating from internal corrosion products.

Keywords: corrosion, management, industry revolution.

Resumo

A indústria de óleo e gás, em particular a dutoviária, tem enfrentando a décadas problemas associados a presença de particulados sólidos em sistemas de compressão, transporte e distribuição de gás natural.

A maioria dos problemas são devidos a produtos de corrosão, vulgarmente denominados de "pó preto", originados na fase de construção ou mesmo durante a operação. A depender da carga de sólidos desprendida, o seu impacto poderá afetar estações de redução de pressão. Apesar dos avanços em termos de caracterização existem ainda lacunas para sua mitigação.

O presente trabalho faz uma breve revisão dos problemas e avanços já alcançados, e aborda algumas lacunas para mitigar a presença desses particulados originados por produtos de corrosão interna.

Palavras-chave: Corrosão, Monitoração, Interna, Gás, Pó preto

^a Mestre, Engenheiro de Petróleo – Petrobras/Cenpes

Introdução

A indústria de óleo e gás tem enfrentando a décadas problemas devido a presença de particulados sólidos em sistemas de compressão, transporte e distribuição de gás natural. Diversos estudos feitos para caracterizar e avaliar o problema identificaram que uma grande maioria dos problemas são devidos a produtos de corrosão, vulgarmente denominados de “pó preto”, originados na fase de construção ou mesmo durante a operação. c

O presente trabalho faz uma breve revisão dos problemas e avanços já alcançados pela indústria, e aborda algumas lacunas e estratégias de linhas de pesquisa necessárias a serem ainda aprimoradas pelas operadoras e distribuidoras de gás para monitorar e mitigar a presença desses particulados originados por produtos de corrosão interna.

Um outro problema que também origina partículas sólidas e problemas de entupimento como o “pó preto” em estações redutoras de pressão em city-gates é formação de enxofre elementar, que tem cor amarela, e sua presença é originada devido a desublimação deste elemento presente em partículas por bilhão no gás em condições específicas de variação de pressão e temperatura. Como este tipo de problema não é foco do trabalho, não iremos abordá-lo na discussão aqui.

Discussão

Problemas, origem e formas de mitigação

O pó preto são partículas sólidas constituídas basicamente por produtos de corrosão e sais. Essas partículas sólidas em gasodutos são problemáticas, pois podem causar problemas de integridade e operação, tais como:

- entupimento de válvulas,
- rompimento de elementos filtrantes nos “city-gates” de medição de gás.
- perda de eficiência em sistemas de compressão
- custos adicionais de manutenção com limpeza de filtros, placas de orifício e válvulas
- perda de receita pois seu acúmulo no sistema de medição pode gerar erros maiores que 3% na medição de gás p/ venda
- investimento adicional com equipamentos de filtração extras (ex: depuradores com filtro ciclone, etc..)
- perda de receita devido a interrupção do fornecimento de gás aos clientes
- interferir no resultado da inspeção de integridade com pigs instrumentados

Nos últimos 40 anos foram relatados inúmeros problemas no Brasil e em outros países devido a presença de sólidos em sistemas de transporte ou compressão de gás.

A foto 1 e 2 ilustram uma estação redutora de pressão (E.R.P.) de gás em um “city-gate” e seu respectivo sistema de medição, onde a presença de pó preto formado por partículas de corrosão e sal (NaCl) causaram o entupimento e perda de controle da válvula.



**Figura 1 – City-gate de dois tramos com filtro
válvulas de controle (azul) e válvula reguladora de pressão**



**Figura 2 – Válvula controladora de pressão (cor cinza)
e suas linhas de instrumentação cujo funcionamento
fica prejudicado na presença de partículas sólidas no gás**

Inúmeros trabalhos feitos nas últimas décadas por operadoras e institutos de pesquisa investigaram a composição desses particulados formados nos gasodutos (1, 2, 3, 4 e 5). A origem depende do histórico de cada duto. A formação destes particulados pode ocorrer tanto no período de construção como também no período de operação, dependendo de anormalidades na qualidade do gás ou de procedimentos operacionais. De uma forma geral podemos citar que sua origem na fase de operação é oriunda da corrosão natural do duto devido aos contaminantes naturais na composição do gás natural ou contaminantes (oxigênio e sais arrastados), ou ainda o desenvolvimento de bactérias, junto com problemas no controle do ponto de orvalho à água que permita a sua condensação de água mesmo que esporadicamente e/ou por curto período de tempo.

Vale comentar que as partículas sólidas presente na corrente de gás transportada são normalmente citadas como “pó preto” são erroneamente entendidas por alguns técnicos da operação como sendo formadas por sulfetos de ferro devido a corrosão deste gás na presença de água. O aspecto visual do “pó preto” coletado nos dutos varia. Alguns são aglomerados espessos de cor preta, outros finos com pontos brancos ou às vezes até mesmo marrom-avermelhada.

As figuras 3, 4 e 5 mostram partículas sólidas que foram coletadas em filtros, válvulas, pigs e recebedores. Dependendo da sua composição, o aspecto é diferente, o que interfere tanto no seu impacto na operação como na forma de como mitigá-lo.



Figura 3 – Filtro com partículas finas, de cor cinza, formado pelo produto de corrosão do CO₂



Figura 4 – Filtro de linha de gás com produto de corrosão do H₂S, o qual entrou em combustão espontaneamente após alguns minutos exposto ao ar



Figura 5 – Material formado por óxidos e siderita que foi retirado do recebedor após a passagem de um pig

A indústria tem adotado algumas medidas para mitigar ou mesmo tentar eliminar a presença do pó preto e seus efeitos (6). Em dutos antigos, o pó preto pode ser minimizado a partir de um conjunto de ações tais como:

- limpeza mecânica do duto com passagem de pigs raspadores;
- colocação de filtros depuradores do tipo ciclone em série com outros filtros cesta;
- limpeza do gasoduto com a introdução de produtos químicos especiais associado a passagem de pigs com o duto em operação ou temporariamente retirado de operação.
- melhorias nas práticas de limpeza e comissionamento antes da sua entrada em operação

Devido a dificuldade e ao grande esforço operacional para retirar as partículas sólidas, muitas operadoras aproveitando também a questão de economia de energia com a redução do atrito do gás construíram nos últimos 12 anos, seus gasodutos revestidos internamente com pintura orgânica. Tal prática reduziu drasticamente os problemas de pó preto, considerando que a maioria dos dutos só deixaram expostas ao gás a região de solda entre tubos. Esta região de solda tem em geral de 100 mm a 150 mm de largura, e representa uma área bem menor exposta ao gás. Contudo, a depender da extensão do gasoduto, a soma destas áreas caso podem gerar uma massa de particulados no gás que tenha ainda impacto na sua operação, principalmente nas estações redutoras de pressão.

Lacunas

Um dos fatores críticos para remoção dos produtos de corrosão é a tensão de cisalhamento, ou velocidade de escoamento. O aumento de vazão e consequentemente de velocidade em muitas instalações existentes poderão gerar problemas, a depender da carga de sólidos desprendida, principalmente nas estações de redução de pressão. A experiência no desenvolvimento de técnicas de monitoração da corrosão interna de oleodutos, o qual foi aplicada em gasodutos permitiu identificar eventos que levaram a geração de particulados sólidos (8, 9 e 10).

As partículas sólidas são em geral produtos de corrosão e estão formadas ao longo da parede por toda a extensão do duto. Contudo sua formação tem espessura na ordem de micrometros. Face a grande área superficial de um duto, a geração da massa de pó “teoricamente” seria grande e impactante se todo este fosse removido em um curto período de tempo. Na prática, mesmo após a passagem de uma série de pigs de limpeza, temos a permanência de uma camada de produto de corrosão. Este produto remanescente, é removido parcialmente ao longo do tempo de acordo com as condições da tensão de cisalhamento com o gás, o qual está diretamente relacionado com a sua velocidade, ou seja, vazão.

No início da vida de operação de um gasoduto, é comum termos um período de escoamento com uma vazão bem menor que a sua capacidade de projeto. Com o passar do tempo e a interligação do duto principal aos seus clientes, permite que sua vazão de operação aumente e consequentemente também a velocidade de escoamento, ou seja, a tensão de cisalhamento entre o gás e a parede interna do duto. Existem ainda situações onde o cliente a ser atendido tem uma grande variação de consumo de acordo com o seu processo produtivo. Tal tipo de situação do ponto de vista do transportador de gás é um desafio pois leva a variações grandes na pressão de chegada além de vazão. Além disso, os ramais para atendimento aos clientes ao longo de grande gasoduto tronco, são de menor diâmetro, o que corrobora ainda mais para o aumento de velocidade.

Apesar dos avanços em termos de caracterização e mitigação, é recorrente o aparecimento de problemas com pó preto. Apesar de já existirem algumas práticas de projeto e operacionais para tentar mitigá-lo, muitos sistemas, como por exemplo, dutos e tubulações construídas em aço carbono, operam hoje já com alguma corrosão, que a depender das condições operacionais podem permitir a reincidência do problema. Dentro deste cenário, muitas transportadoras de gás natural, observaram um crescimento na carga de particulado sólido no gás, e consequentemente dificuldades para removê-los da corrente, e assim minimizar os impactos pela sua presença.

Somente para exemplificar, podemos citar a operação de um gasoduto, que foi impactado por uma quantidade grande de pó preto, devido ao aumento da vazão de gás escoada quando esta passou de 13,000 N m³/dia para 100,000 N m³/dia elevou significativamente a velocidade de escoamento do gás. Isto fez que a velocidade do gás que variava de 0,23 m/s a 0,52 m/s mudasse para 2,23 m/s a 5,0 m/s.

Baseados em levantamentos operacionais de campo, muitos gasodutos já começam a apresentar em velocidades acima da faixa de 2,2 m/s a 3,0 m/s problemas com particulados sólidos constituídos por produtos de corrosão. Aparentemente, esta velocidade depende de

alguns outros fatores, mas predominantemente da característica do particulado sólido a ser removido.

Existem algumas teorias como a apresentada por J.Smart (11, 12 e 13). Além do desprendimento inicial causado pela tensão de cisalhamento do gás ou de um pig sobre a camada de produto de corrosão aderida na superfície interna do duto, outra interação que pode levar ao desprendimento do material é a própria colisão com a parede do particulado previamente carregado pela corrente gasosa.

A partir do desprendimento do material para dentro da corrente, existem teorias como a Wicks (14) que considera a densidade, viscosidade, aceleração gravitacional e forças de arraste e outros parâmetros hidrodinâmicos para determinar a velocidade teórica de carregamento do pó depositado na tubulação. Esta velocidade considera ainda diferentes composições de sólidos, formas e diâmetro da partícula, diâmetro do duto, pressão e vazões. Por outro lado, observamos que após a passagem de um pig, a chegada novamente de pó preto em city-gates. Tal constatação de campo corrobora com a teoria que velocidade necessária para carregar o pó, sustentando-o na massa gasosa é menor que aquela que assume ainda a contribuição da energia extra para transportá-lo da parede para dentro da massa gasosa.

Outro aspecto observado na caracterização de muitos particulados sólidos encontrados no campo é a respeito da sua distribuição granulométrica. O diâmetro de corte médio destas partículas é de grande importância em termos de estratégia de mitigação usando filtros. Infelizmente, a situação de campo é complexa, pois a depender da natureza e evento que levou a sua formação, uma faixa grande de granulometria é encontrada. Por exemplo, existem partículas com até 100 micrometros, assim como existem para algumas cargas de pós, mais de 10% da sua massa com diâmetro inferior a 1 micrometro. Estas partículas sub microns quando presentes, demandam uma velocidade de carregamento bem mais baixa, não sendo difíceis de serem transportadas. Este contexto, torna a situação operacional mais complexa. Daí a relevância do conjunto de ações e procedimentos operacionais, e de inovarmos com sistemas alternativos de filtração. Tais sistemas podem ser instalados de forma temporária até o problema ser atenuado, ou mesmo de forma permanente.

O grande problema está na geração inicial, ou seja, na velocidade limite que ajuda no desprendimento do produto de corrosão da parede, pois se esta velocidade for ultrapassada pode gerar uma massa contínua muito maior de carga de pó por metro cúbico de gás escoado. Portanto, embora a indústria tenha feito avanços nas últimas décadas temos necessidade de aprofundar nosso conhecimento e soluções em duas dimensões:

- na determinação da velocidade limite de operação que inicie o arranchamento do produto de corrosão da parede do duto, visto este é uma das fontes predominantes de geração de particulados sólidos
- no desenvolvimento de novas formas de filtração dos particulados no gás

Para isto um estudo de pesquisa com base em um trabalho sistemático em escala real representativa, simulando diferentes velocidades a partir de duto pré-corroído é necessário ser realizado. Desta forma poderemos melhorar nossa compreensão sobre a velocidade limite versus tipo de composição do pó e quantidade de massa gerada por metro cúbico de gás escoado a partir de uma área superficial. Em conjunto deve ser analisado a distribuição

granulométrica do material desprendido e procurar desenvolver melhorias nos sistemas de filtração. Neste sentido, a combinação de diferentes tipos de elementos filtrantes, e a inclusão de soluções de filtração com elementos magnéticos teria grande valia para a indústria do gás.

Conclusões

Apesar dos avanços em termos de caracterização e mitigação, é recorrente o aparecimento de problemas na área de transporte devido a presença de particulados sólidos, vulgo pó preto, na corrente de gás. Embora existam algumas práticas de projeto e operacionais para tentar mitigá-lo, muitos sistemas, como por exemplo, dutos e tubulações construídas em aço carbono, operam hoje já com alguma corrosão, que a depender das condições operacionais podem permitir a reincidência do problema devido a presença de particulados sólidos.

O uso de gás natural como fonte de energia tem crescido em diversos países, e muitas tendências mostram um cenário crescente do seu consumo no mundo todo. Este aumento de demanda será muitas vezes atendido usando as infraestruturas existentes, onde a vazão de escoamento irá aumentar.

Este cenário de aumento de vazão é muito comum na operação de um gasoduto pois suas condições de operação variam de acordo com a demanda de gás pelo mercado. Por sua vez estas condições de mercado são sazonais, o que pode levar a grandes variações de pressão e vazão em determinados dias do ano, principalmente em fins de semana.

Embora a indústria tenha feito avanços nas últimas décadas temos neste cenário de maior uso do gás natural como energia limpa, a necessidade de aprofundar nossos conhecimentos e soluções:

- (a) na determinação da velocidade limite de operação que inicie o arranchamento do produto de corrosão da parede do duto, visto este é uma das fontes predominantes de geração de particulados sólidos,
- (b) no desenvolvimento de novas formas de filtração dos particulados no gás.

Portanto, oportunidades de pesquisa e desenvolvimento existem e devem ser incentivados pela indústria.

Referência bibliográfica

- (1) BALDWIN, R. **Technical Assessment:** “Black Powder” in the Gas Industry – Sources, Characteristics, and Treatment,” Gas Machinery Research Council Report TA 97-4 May, 1998. Report available at www.gmrc.org/technology-reports.html Report 97-4
- (2) BALDWIN, R. **What is Black Powder?** An Overview presented at the Black Powder Forum, Feb. 17, 2006, Houston
- (3) SILVA, J.M.; PIMENTA, G.; FERREIRA, P. **Altoe Avaliação da Corrosão Interna de um duto de gás natural**, 6 COTEQ- Conferência sobre Tecnologia e Equipamentos, 22 Conbrascorr, Salvador, 2002
- (4) SILVA, J.M.; PIMENTA, G.; FERREIRA, P. Altoe; COELHO, J.F. **Caracterização de resíduos sólidos colhidos em dutos de gás natural – parte 2**, 6 COTEQ- Conferência sobre Tecnologia e Equipamentos, 22 Conbrascorr, Salvador, 2002
- (5) BALWIN, R.M. **Black Powder Control Stars Locally, Works Back to Source**, Pipe Line & Gas Industry, pp.81-87, April 1999
- (6) BALWIN, R.M. **Here are Procedures for Handling Persistent Powder Contamination**, Oil & Gas Journal Special, pp 51-56, October 26, 1998
- (7) FERREIRA, P. Altoe **Sólidos em Linhas de Gás Natural e GLP: Tipos e Problemas causados**, XX Congresso Brasileiro de Corrosão, agosto 2000
- (8) FERREIRA, P.Altoe; PEIXOTO, D.G.; FERREIRA, C.V.M. **Experiência de Campo com a Aplicação de Técnicas de Monitoração no Controle da Corrosão Interna de Oleodutos com Inibidores**, XXI Conbrascorr, São Paulo, Agosto 2001
- (9) FERREIRA, P.Altoe; PEIXOTO, D.G.; FERREIRA, C.V.M. **Experiência de Campo na avaliação da corrosão interna de Oleodutos terrestres: estratégias e técnicas** 20 Congresso Brasileiro de Corrosão, Fortaleza, 2000
- (10) NOBREGA, A.C.V.; PIMENTA, G.; PEIXOTO, D.G. **Avaliação da Corrosão Interna em Dutos de Transporte de Gas Natural**, CEBECIMAT, Natal, 2002
- (11) SMART, J. **Black Powder Movement in Gas Pipelines**, NACE 2011, paper 11089
- (12) SMART, J. **Keep on Move**, World Pipelines, December 2009 pages 1-5
- (13) SMART, J. **Movement of Black Powder in Gas Pipelines**, Pipeline and Gas Journal, November 2007 pages
- (14) WICKS, M. **Transport of Solids at Low Concentration in Horizontal Pipelines** in Advances in Solid-Liquid Flow in Pipelines and its Applications, Edited by Iraj Zandi, Pergammon Press, New York, 1971 pg. 101-124).