

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Filtração de Gases a Diferentes Pressões

AUTORES:

Kauê Guglielmo Muniz*

Eduardo Hiromitsu Tanabe

José Renato Coury

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia Química

Via W. Luiz, km 235 – São Carlos SP

* bolsista doutorado PRH 44

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

Filtração de Gases a Diferentes Pressões

Abstract

The focus of this study was the filtration behavior at high pressures, utilizing cellulose and metal fibers as filtration media. To simulate the environment of the pipeline, a filtration system was constructed that could operate at different levels of pressure. In this work, the tested levels were atmospheric (0.93 bar), 2.93 bar and 5.93 bar. The gas superficial velocity was maintained constant at 5cm/s at the filter. The test particles utilized to simulate the real environment, i.e. particles coming from the corrosion of natural gas pipeline known as Black Powder, was an inert rock powder with an average diameter of 8.5 micrometers. They were dispersed in air at ambient temperature. The tests performed consisted in measuring the pressure drop and the collection efficiency of the particles in the filters, having the deposited mass and the pressure at the filter as parameters. The results showed, as expected, that the pressure drop increases with the particle load in the filters. However, this increase is lessened in higher filtration pressures. Also, the results show that the cellulose filter is more sensitive to pressure changes than the metallic. Finally, it was observed that the collection efficiency of the clean filters increases with increasing the test pressure, but the opposite is perceived when the test is performed at the presence of a cake formed at the filter surface. This trend is most notable for the cellulose filter. These evidences indicate that the higher pressures may affect the cake porosity and, eventually, the filter fiber (the cellulose fiber, for that matter).

Introdução

O atual cenário de constantes buscas por fontes de energias alternativas ao petróleo, que poluam menos e que tenham custos relativamente baixos fez com que o gás natural surgisse como uma promissória adequação a estas necessidades (Moraes, 2003)

O gás natural é composto basicamente de hidrocarbonetos leves, e, desta forma, não produz óxidos de nitrogênio ou de enxofre na sua combustão, contribuindo assim para a diminuição na emissão destes compostos que, além de causar riscos à saúde da população, contribui para o fenômeno da chuva ácida (Gasnet.com.br).

Atualmente existem muitas aplicações para o gás natural, indo desde o uso domiciliar em fogão passando pelo abastecimento de automóveis, até abastecimento do setor industrial. Sendo de tão grande aplicação o gás natural tem uma série de normas que devem ser seguidas para a distribuição aos consumidores.

Antes de passar para os gasodutos, o gás natural passa por uma estação de tratamento para retirada de umidade e outros contaminantes que possam ser arrastados na saída do poço de exploração. O gás que sai da estação de tratamento é praticamente isento de contaminantes, porém, devido à grande área superficial que existe nos gasodutos, pequenas quantidades de água residual podem acumular-se na superfície interna da tubulação associando-se a outros possíveis contaminantes, principalmente compostos de enxofre e carbonatos que acabam corroendo a superfície interna da tubulação (Silva et al. 2001). Esta corrosão produz quantidades de particulados significativas ao longo da linha de transporte, o chamado Pó Preto.

O Pó Preto é constituído basicamente de particulados de carbonatos, silicatos, sulfatos e compostos ferrosos (Silva et al. 2002). Estes particulados são um grande problema na linha de transporte do gás natural uma vez que podem causar sérios problemas como obstrução de válvulas e equipamentos de medidas, produção de fagulhas no interior da linha, perda de eficiência de

compressores e custos para a limpeza da linha (Trifilieff et al. 2009), além de estarem em desacordo com as normas para comercialização do gás.

Desta forma, cada vez mais vem se estudando maneiras de se controlar a presença deste particulado ao longo dos gasodutos. Essa limpeza é normalmente realizada por filtros. Uma importante frente de pesquisa que vem sendo cada vez mais enfatizada consiste em maximizar a eficiência dos meios filtrantes, minimizar a perda de carga provocada ao longo do processo e conseqüentemente diminuir dos gastos do processo de limpeza do gás.

Um obstáculo nas pesquisas relacionadas a tal processo é o pouco conhecimento que existe em sistemas de filtração de gases operados a pressões elevadas, que é o que normalmente ocorre nesses dutos.

Desta forma o objetivo do seguinte trabalho foi estudar como varia o comportamento do meio filtrante com relação a parâmetros importantes no processo de filtração (eficiência de coleta, perda de carga) quando o sistema está submetido a pressões bem acima da atmosférica.

Metodologia

O equipamento de filtração utilizado era constituído por uma linha de ar sob pressão, no qual era disperso um material particulado inerte como aerossol de teste. O aerossol, ao passar através do filtro, tinha suas partículas removidas, o que era monitorado através de um contador óptico que as contava, por faixa de tamanho, antes e depois do filtro. A velocidade do gás no filtro foi mantida constante e a perda de carga no filtro era monitorada ao longo de cada teste. Esse procedimento é detalhado abaixo.

O equipamento:

A linha de filtração consistia de um compressor de alta pressão ligado a três filtros para limpeza do ar, um alimentador de pó tipo rosca, um filtro absoluto, o sistema de filtração e um contador de partículas acoplado a um sistema de aquisição de dados. O esquema do equipamento está apresentado na Figura 1 (mais detalhes em Tanabe *et al.*, 2010).

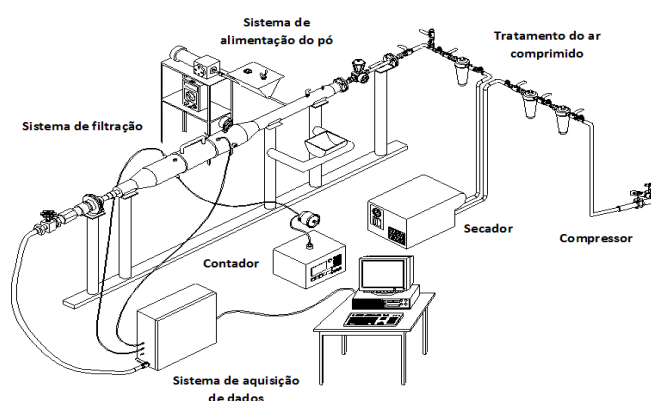


Figura 1: Equipamento de filtração a alta pressão.

O ar era alimentado por um compressor (marca Atlas Copco, modelo LT2-155 90TM, pressão máxima de 15 bar, vazão de ar de 3,6 l/s), e limpo por um par de filtros coalescentes para que as partículas sólidas e líquidas do ambiente não interferissem nos ensaios de filtração. Em seguida

passava por um secador da marca Atlas Copco, modelo FX2, para retirada de umidade do ar. Tal secador operava com pressão máxima de entrada de 13 bar e uma vazão de ar de 10 l/s.

O sistema utilizado para a alimentação de partículas era composto basicamente por uma rosca sem fim acoplada a um motor de velocidade variável, a qual que fazia o transporte do pó até a corrente gasosa.

O elemento filtrante era fixado no duto central, de forma cilíndrica, tendo um diâmetro interno de 9 cm. Para a construção do compartimento de filtração foi utilizada uma tela metálica no seu interior que servia como apoio para o filtro, para que o mesmo não se deformasse no decorrer do processo de filtração devido à alta pressão submetida. O compartimento do filtro era fixado ao sistema de filtração através de engates do tipo *clamp*, suportados com juntas de silicone, garantindo a vedação do sistema.

O sistema de aquisição de dados de pressão era composto por um transdutor de pressão da marca Novus, modelo 692, no qual se mediam as diferenças de pressão nos meios filtrantes. A condição máxima de operação do sensor era 100 mbar, com precisão na escala de fundo de 0,5%.

O contador de partículas utilizado foi o modelo Abakus Mobil Air com sensor LDS 328s da marca Klotz, para altas pressões, o qual opera a um fluxo de 2,83 l/min. A faixa de tamanho de partículas medida estava entre 0,3µm a 20µm, com uma concentração máxima de $2 \cdot 10^6$ partículas/l.

As condições operacionais:

Os ensaios de filtração foram realizados para determinar a perda de carga que acontecia nos filtros de celulose e metálicos quando submetidos às pressões de 0,93 bar; 2,93 bar e 5,93 bar e velocidade superficial de 0,05m/s, com um limite máximo de perda de carga tolerado de 12 bar, sendo o sistema alimentado com uma vazão mássica de pó de 0,005 g/s.

A velocidade superficial do ar no filtro foi mantida constante e, para tal, a vazão de alimentação era corrigida com base nas condições normais de temperatura e pressão ($T = 25^\circ\text{C}$, $P = 760\text{mmHg}$, $\mu = 1,86 \cdot 10^{-5}\text{Pa.s}$, $\rho = 1,1\text{kg/m}^3$). O cálculo para a estimativa dessa velocidade foi feito com base na lei dos gases ideais:

$$v_s = v_{s0} \frac{T}{T_0} \frac{P_0}{P} \quad (1)$$

onde v_s é a velocidade superficial do gás nas condições de temperatura e pressão de interesse (P , T), e v_{s0} a velocidade do gás nas CNTP (P_0 , T_0).

A eficiência de coleta do filtro limpo foi feita após um minuto de funcionamento do mesmo, para se garantir o estabelecimento de um regime permanente de alimentação de particulado. Para sua estimativa foram feitas 3 contagens de partículas antes e depois do filtro e suas medias foram usadas da seguinte forma (Bénese et al. 2005):

$$\eta = \frac{N_{\text{antes}} - N_{\text{depois}}}{N_{\text{antes}}} \quad (2)$$

onde N_{antes} e N_{depois} são os números de partículas contadas antes e depois do filtro, respectivamente.

A medida da eficiência da filtração foi também efetuada com a presença de uma camada de pó depositada na superfície filtrante (torta) formada durante filtração prolongada até se atingir a perda de carga máxima de operação (12 bar).

Os materiais

O material utilizado como pó de teste foi uma rocha fosfática inerte, de $3170,00 \text{ kg/m}^3$ de densidade. A sua distribuição granulométrica, base mássica, foi determinada por um analisador de partículas Malvern Mastersizer Microplus (MAF 5001), e está apresentada na Figura 2.

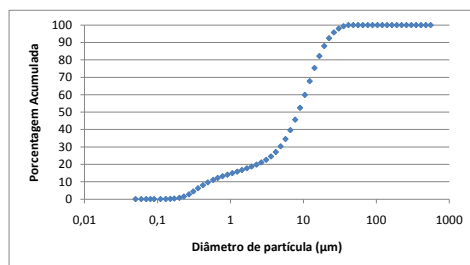


Figura 2. Distribuição granulométrica, base mássica, da rocha fosfática utilizada como pó de teste.

Os meios filtrantes utilizados no trabalho foram os de fibra de celulose e trançado metálico apresentados nas figuras 3 e 4 respectivamente, e suas principais características estão apresentadas na Tabela 1. O diâmetro de fibra e porosidade superficial apresentados na tabela foram obtidos através de análise de imagens.

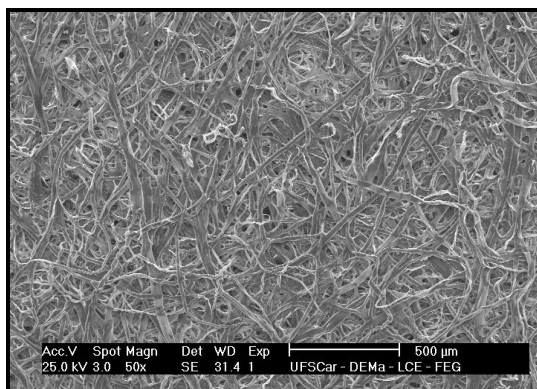


Figura 3. Filtro de celulose utilizado neste trabalho.

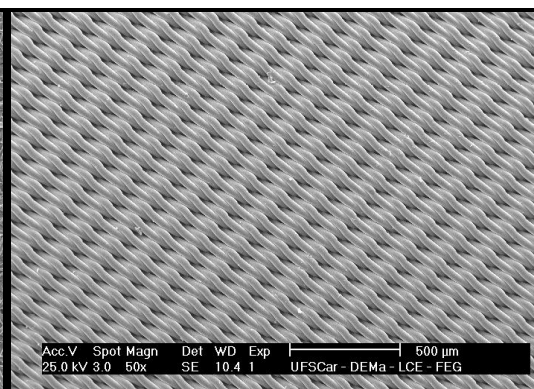


Figura 4. Filtro metálico utilizado neste trabalho.

Tabela 1. Características dos meios filtrantes

Meio Filtrante	Celulose	Metálico
Contextura	Feltro	Trançado
Gramatura (g/cm^2)	150	535
Espessura (mm)	0,45	0,15
Diâmetro das fibras (μm)	22	28
Porosidade superficial	0,74	0,30

Resultados e Discussão

- Perda de carga nos filtros

Os comportamentos da perda de carga em função da massa de pó depositada nos filtros nas diferentes pressões testadas, para os filtros de celulose e metálico estão apresentados nas Figuras 5 e 6.

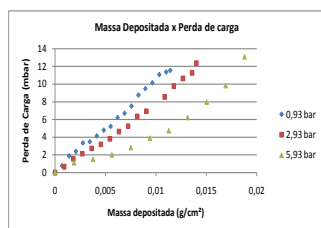


Figura 5. Perda de carga em função da massa de pó coletada para o filtro de celulose

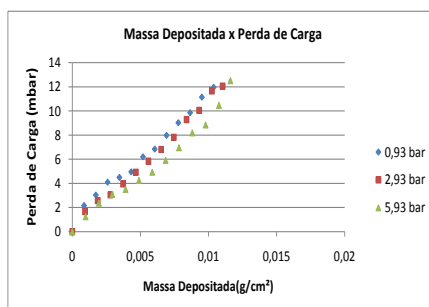


Figura 6. Perda de carga em função da massa de pó coletada para o filtro metálico

Pode ser observado na Figura 5 referente ao filtro de celulose que, como era de se esperar, a perda de carga aumenta na medida em que aumenta a quantidade de pó coletado. Por outro lado, nota-se que o comportamento da perda de carga do filtro é inversamente proporcional ao aumento de pressão do sistema. Ou seja, o aumento da pressão do sistema faz com que o filtro tenha uma menor perda de carga para uma mesma quantidade de material coletado. Tal observação, não trivial, parece indicar que a pressão do sistema tem ação decisiva na estrutura do meio filtrante, provavelmente alterando tanto a estrutura fibrosa quanto a deposição do pó.

Observa-se na Figura 6, para o filtro metálico, que o mesmo responde praticamente da mesma forma a aplicação de diferentes pressões ao sistema, indicando a modificação da deposição do pó com a pressão do sistema. No entanto, é visível que o espalhamento das curvas é bem menor que no caso do filtro de celulose. Isto talvez possa ser explicado pelo fato da estrutura trançada do filtro metálico seja menos susceptível às variações de pressão do meio.

Para melhor comparação dos meios filtrantes, as Figuras 7 e 8 mostram as perdas de carga nos filtros de celulose e metálico quando submetidos a pressões de 0,93 e 2,93 bar, respectivamente. Observa-se que à pressão atmosférica (0,93 bar, Fig.7), o comportamento de ambos é bastante similar. Com o aumento da pressão (2,93 bar, Fig.8), o filtro de celulose apresenta uma menor perda de carga que o metálico, para uma mesma quantidade de pó coletado. Considerando-se que, pelas suas características mecânicas, a fibra de celulose seja mais deformável que a metálica, tais resultados parecem indicar a possibilidade de deformação como causa da diferença de comportamento observado.

- *Eficiência de coleta do meio filtrante limpo*

Os resultados da eficiência de coleta para os filtros de celulose e metálico podem ser observados nas Figuras 9 e 10 respectivamente.

A análise das figuras mostra que, para um mesmo filtro, o aumento da pressão submetida ao sistema fez com que a eficiência de coleta de partículas também aumentasse. Observa-se também que independentemente do tipo de filtro utilizado, para partículas com diâmetro acima de 5,0 μm a eficiência de coleta foi próxima a 100%.

Comparando-se as Figuras 9 e 10, é possível notar que as eficiências de ambos os filtros à pressão atmosférica são bastante similares. Para pressões maiores, o desempenho do filtro de celulose na captura de partículas de diâmetros menores do que 5,0 μm é maior do que o filtro de metal. Tal

resultado reforça a idéia de que o aumento da pressão está provavelmente causando alguma deformação nas fibras de celulose.

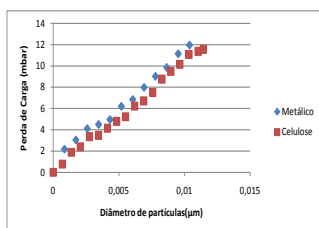


Figura 7. Comparativo de perda de carga entre os filtros a 0,93 bar

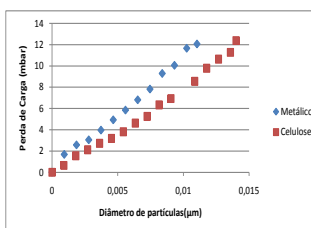


Figura 8. Comparativo de perda de carga entre os filtros a 2,93 bar

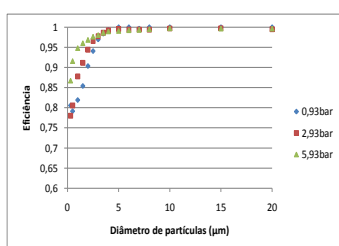


Figura 9. Eficiência de coleta do filtro de celulose limpo

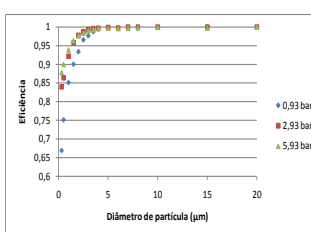


Figura 10. Eficiência de coleta do filtro metálico limpo

- *Eficiência de coleta com a presença de torta de filtração*

Os resultados das eficiências de coleta dos filtros com a presença das tortas resultantes das filtrações nos filtros de celulose e metálico estão expostos nas Figuras 11 e 12 respectivamente.

Observa-se que o comportamento da eficiência da torta de filtração é o oposto observado para o meio filtrante, ou seja, o aumento da pressão faz com que a eficiência de coleta da torta diminua. Isso é provavelmente devido ao efeito da pressão na deposição do material coletado, que se tornaria mais poroso na medida em que se aumenta a pressão do sistema.

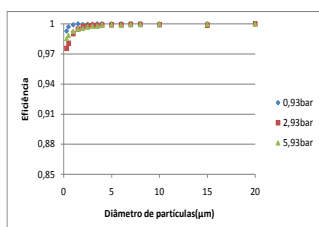


Figura 11. Eficiência de coleta do filtro de celulose com presença de

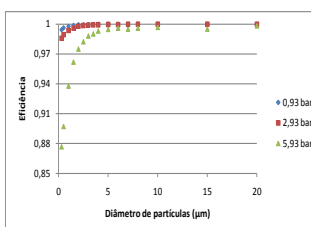


Figura 12. Eficiência de coleta do filtro metálico com presença de torta

Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho permitem concluir que a pressão tem efeito sensível no comportamento dos filtros e do material coletado. Filtrações a altas pressões tendem a ter uma menor perda de carga do que filtrações realizadas a baixas pressões resultando em um aproveitamento maior do filtro utilizado. Notou-se também que a perda de carga para o filtro de celulose é menor do que para o filtro metálico a altas pressões, provavelmente devido a deformações na fibra.

Também se pôde observar que filtrações submetidas a maiores pressões apresentam eficiência de coleta ligeiramente superiores quando comparados a baixas pressões e que filtros de celulose são mais eficientes para na coleta de partículas com diâmetro menor do que 5,0µm quando comparados com filtros metálicos.

Com a torta de filtração formada, a eficiência de coleta tende a diminuir com o aumento da pressão, provavelmente devido à porosidade da camada de deposição, susceptível à pressão local.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Recursos Humanos da ANP, a FINEP e ao MCT pelo incentivo financeiro e pela iniciativa de apoio a pesquisa.

Referências Bibliográficas

Bénesse, M., Coq, L.L., Sollic, C., Collection Efficiency of a Woven Filter Made of Multifiber Yarn: Experimental Characterization During Loading and Clean Filter Modeling Based on a Two-tier Single Fiber Approach, *Journal of Aerosol Science*, Vol. 37 (8): 974-989, 2005

<<http://www.gasnet.com.br>> acessado em 15 de Janeiro de 2011

Moraes, S. E. G., Goldemberg, J., O Mercado do Gás Natural no Estado de São Paulo, Histórico, Cenários, Perspectivas e Identificação de Barreiras; Dissertação para o Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, Março 2003

Silva, J. M., Villela, T., Cavalcanti, E., Cobucci, J.C., Pimenta, G., Ferreira, P. A., Coelho, J. F., Caracterização de Resíduos Sólidos Colhidos em Dutos de Gás Natural – Parte II, In 6ºCOTEQ, 22^o CONBRASCORR, Salvador, Bahia, Agosto 2002

Silva, J. M., Villela, T., Cavalcanti, E., Cobucci, J.C., Pimenta, G., Monitoramento da corrosão interna de dutos instalados de gás Natural – Estado da Arte. In 5º CONTEQ, XXI CONBRASCORR, São Paulo, Setembro 2001

Tanabe, E. H., Coury J. R., Aguiar, M. L., Estudo da Filtração de Gases a Alta Pressão, Exame de Qualificação de Doutorado, UFSCAR, 2010.

Trifilieff, O., Wines, T. H., Black Powder Removal from Transmission Pipelines: Diagnostics and Solutions, In Pipeline Rehabilitation & Maintenance Conference, Gulf International Convention Center, Bahrain, 19 a 21 de Janeiro, 2009