

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ESTUDO PRELIMINAR DE TRAJETÓRIAS DE PARTÍCULAS EM CURVAS PARA REDUÇÃO DE EROÇÃO EM OLEODUTOS

AUTORES:

Moisés Simões da Silva Filho¹, Orlando Manuel Ayala H²

INSTITUIÇÃO:

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, ²OLD DOMINION UNIVERSITY

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. 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 9º PDPETRO.

ESTUDO PRELIMINAR DE TRAJETÓRIAS DE PARTÍCULAS EM CURVAS PARA REDUÇÃO DE EROÇÃO EM OLEODUTOS

Abstract

Erosion is one important problem in many industrial and environmental applications and it is associated to the presence of particles carried by a fluid flow. Erosion may cause complete failure of the pipeline or malfunctioning of equipment attached to it. In 1994, it was estimated that erosion-corrosion problems (not including erosion itself) cost about \$15 billion a year to the US industries. That amount is even larger in nowadays economy. Although it has been recognized that the fluid-particle interactions play an important role in understanding particle impact erosion, most of the studies on erosion has been focused almost exclusively in the material properties and particle-wall interaction right before collision. In this work, using COMSOL Multiphysics® with its CFD and Particle Tracing modules, a combination of plugged tee and a gradual expansion is compared to a tee without the expansion and the regular elbow used in the industry. The impact velocity, impact area and angle of impact were studied based on the particle trajectories. Also, it was analyzed the pressure drop for each of the geometries.

Introdução

Danos provocados por erosão tem sido um problema recorrente nas indústrias que usam tubulações para transportar fluidos com partículas, inclusive a indústria do petróleo que em certos casos transporta areia juntamente com o óleo. Os custos com troca de tubulações, reparo e parada de processo são consideravelmente altos, chegando a cerca de US\$15 bilhões em 1994 somente na indústria americana levando em consideração erosão e corrosão. Em geral, a erosão ameaça a segurança estrutural do material, reduzindo a vida útil e levando à eventual falha.

Fan *et al.* (2001; 2002) realizou minuciosas investigações numéricas e experimentais de erosão em fluxo gás-partícula em curvas e em diferentes configurações de tubos de seção transversal quadrada. Ambos os pesquisadores concluíram que as mudanças na trajetória das partículas reduziram a erosão de 66 a 91% em média, devido às alterações nos valores de ângulo de impacto e velocidade de impacto das partículas. Edward *et al.* (2001) comparou o processo de erosão em curvas e T's, concluindo que curvas com grande raio de curvatura e T's possibilitam uma redução de erosão quando comparados à curvas padrão.

Neste trabalho é feita uma comparação entre o T já usado na indústria, um T precedido de uma expansão gradual e a curva regularmente usada na indústria. A alteração no T foi realizada baseando-se no fato de que o aumento de diâmetro em tubulações reduz a velocidade do fluido, reduzindo assim por sua vez a velocidade de impacto das partículas. Os modelos foram analisados usando simulações em CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e comparadas entre si. Além disso, a queda de pressão ao longo das geometrias foi avaliada.

Metodologia

O modelo usado baseia-se nas aproximações euleriano-lagrangiano. O fluido foi analisado usando o modelo euleriano enquanto as partículas foram rastreadas pelo modelo lagrangiano. Para os estudos foi utilizado modelo CFD no COMSOL Multiphysics®.

O fluido utilizado foi água devido ao gasto computacional que óleo bruto adicionaria às análises. Entretanto, sabe-se que considerando parâmetros adimensionais os resultados de simulações realizadas com fluidos diferentes são ainda assim, similares. O fluido foi considerado incompressível, isotérmico e newtoniano. A equação estacionária RANS (*Reynold-averaged Navier Stokes*) foi utilizada no modelo juntamente com o modelo de turbulência k- ϵ . Para determinar a intensidade da turbulência foi utilizada a Equação 1.

$$I = 0.16Re^{\frac{-1}{8}} \quad (1)$$

Onde o número de Reynolds é 75000 (turbulento). A Equação (2) foi utilizada para determinar a velocidade inicial do fluxo juntamente com análise de dados coletados.

$$U(r) = 1.767(1 - \frac{r}{R})^{0.1283} \quad (2)$$

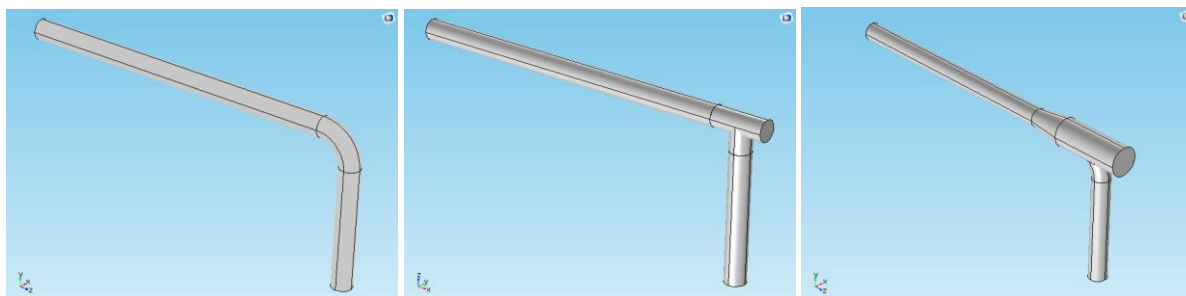
Considerou-se que a força atuante nas partículas é simplesmente o arrasto. Interações partícula-partícula, partícula-fluido, forças gravitacionais, eletromagnéticas e acústicas não foram consideradas por representarem pouca influência no resultado das simulações.

Dois diâmetros de partículas foram avaliados, 250 μm e 500 μm ambas com densidade de 2200 kg/m^3 . Inicialmente considerou-se paredes com impacto elástico e em seguida paredes com impacto congelado. Primeiramente foi analisado um caso com 50 partículas e em seguida com 20 partículas.

A geometria da curva regular é composta por uma entrada de 0,8 m de comprimento, seguida por uma curva de 90° e uma saída de 0,3 m de comprimento. O raio da tubulação é de 0,0254 m (1 polegada). A geometria do T sem expansão é formada por uma tubulação de 1 m na horizontal e uma tubulação de 0,4 m na vertical que se interceptam. O raio da geometria é 0,0254m.

A geometria do modelo expandido é composta por uma tubulação de entrada de raio 0,0254 m e comprimento de 0,65 m para completo desenvolvimento do fluxo. Em seguida há uma expansão gradual em forma de cone, com entrada de raio 0,0254 m, saída de raio 0,04 e comprimento de 0,1 m. Após a expansão há um trecho cilíndrico de raio 0,04 m e comprimento de 0,2 m. Por fim, a saída do fluido é através de uma tubulação de raio 0,0254 m e comprimento 0,3 m. São ilustradas na Figura 1 as geometrias do modelo regular, T sem expansão e T expandido, respectivamente.

Figura 1 – Geometrias Avaliadas



O software utilizado disponibiliza nove malhas com diferentes graus de refinamento. Devido ao custo computacional das malhas, foi realizado um estudo em busca da malha com menor gasto computacional, porém com resultados mais fiéis à realidade. É importante ressaltar que a geometria utilizada para a análise sensitiva da malha foi o T sem expansão por ser a geometria que apresentou as maiores variações de valores de acordo com a malha utilizada. É mostrado na Tabela 1 os tipos de

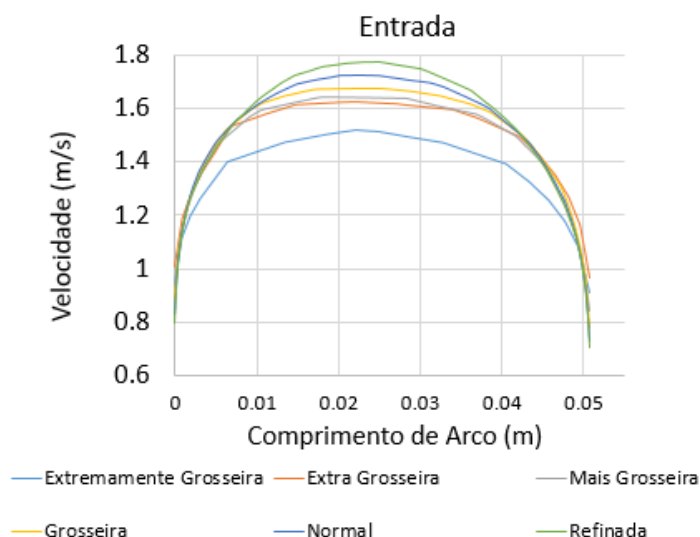
malhas avaliados seguidos do número de graus de liberdade, memória requerida e tempo de solução para o T regular.

Tabela 1 – Descrição Computacional das Malhas

Tipo de Malha	Graus de Liberdade	Memória Requerida (GB)	Tempo de Solução (s)
Extremamente Grosseira	39870	1.14	494
Extra Grosseira	66012	1.43	924
Mais Grosseira	138648	2.01	1872
Grosseira	244128	2.27	3700
Normal	5312416	4.41	6295
Refinada	1452894	9.77	52160

Para avaliar as malhas foram colocados planos na entrada do T. A velocidade foi avaliada nos planos para cada uma das malhas. São mostrados na Figura 2 os resultados obtidos na análise sensitiva.

Figura 2 – Análise Sensitiva de Velocidade nas Malhas



É possível observar que os valores de velocidade das malhas Normal e Refinada sobrepõem-se. Portanto a malha escolhida foi a Normal por apresentar menor gasto computacional e resultados próximos da realidade.

Resultados e Discussão

Duas simulações com partículas foram realizadas. Na primeira, partículas com 250 μm de diâmetro foram lançadas, na segunda foram usadas partículas com 500 μm de diâmetro. A densidade das partículas foi de 2200 kg/m^3 . Foi analisado o primeiro impacto das partículas por ser o que carrega maior quantidade de energia e por consequência provoca maior erosão, além da trajetória das partículas.

Para o estudo do primeiro impacto foram utilizadas 50 partículas, enquanto para o estudo das trajetórias foram usadas 20 partículas para melhor visualização. Além disso, é importante destacar que no estudo do primeiro impacto foi usado a mesma escala de velocidade, sendo o mínimo 0 e o máximo

3 m/s. No estudo das trajetórias cada geometria possui sua própria escala para não prejudicar a visualização.

As Figuras 3, 4 e 5, ilustram respectivamente as geometrias de curva regular, T convencional e T expandido. À esquerda são mostrados os resultados do primeiro impacto das partículas, enquanto à direita são exibidas as trajetórias.

Figura 3 – Curva Convencional com Partículas de 250 μm

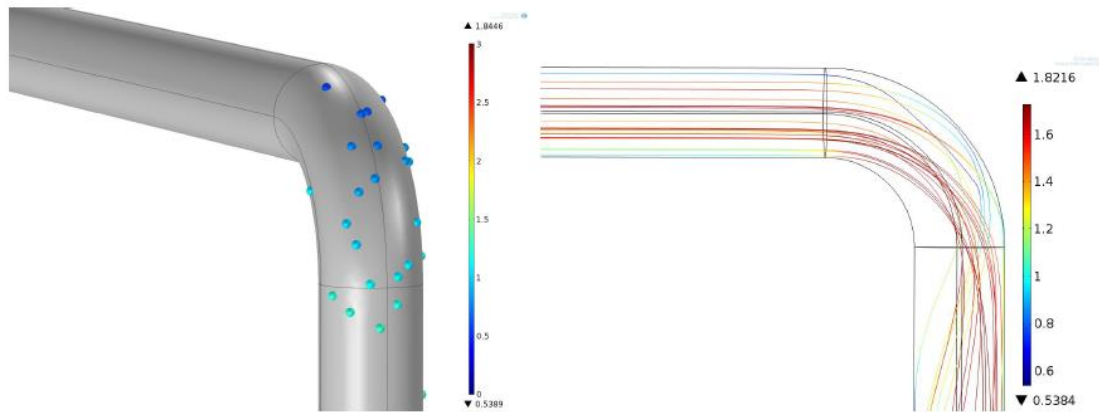


Figura 4 – T Convencional com Partículas de 250 μm

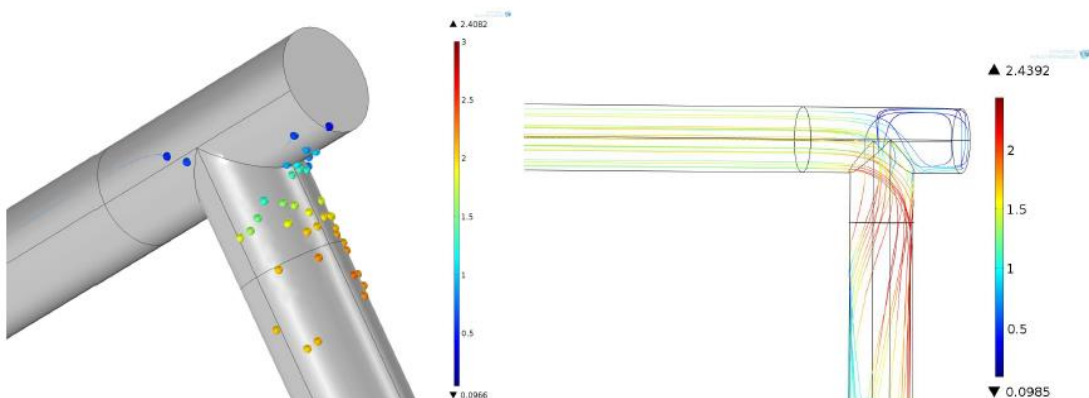


Figura 5 – T Expandido com Partículas de 250 μm

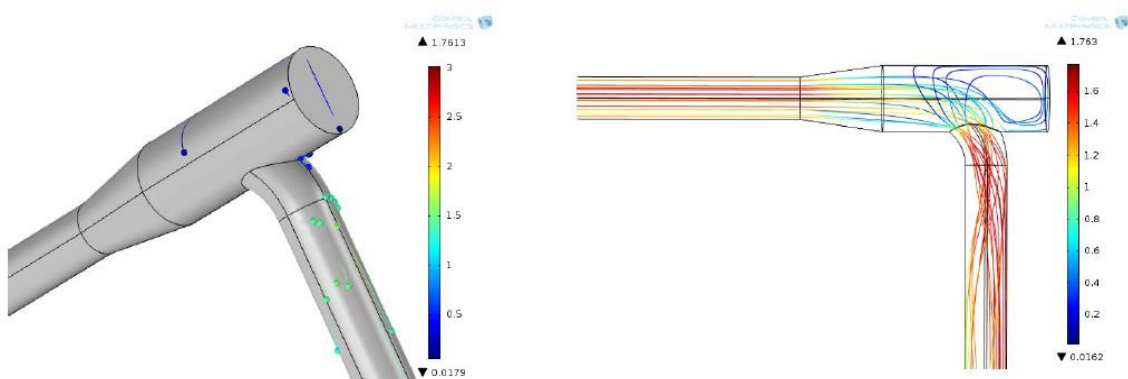


Tabela 2 – Parâmetros de Erosão (250 μm)

Geometria	Colisões de Partículas	Velocidade Máxima de Impacto (m/s)	Velocidade Máxima de Trajetória (m/s)
Curva Convencional	58%	1,8446	1,8216
T Convencional	96%	2,4082	2,4392
T Expandido	55%	1,7613	1,7630

Observou-se que a curva convencional e o T expandido apresentam valores próximos de velocidade de impacto, velocidade de trajetória, além exibirem um percentual de colisões semelhante. Porém, notou-se através das trajetórias que a angulação no choque das partículas da curva convencional é significativamente maior quando comparado ao ângulo de impacto do T expandido. Além disso o T convencional apresentou valores de velocidade máxima cerca de 25% maiores que as outras geometrias e cerca de 40% colisões a mais quando comparado às outras geometrias, indicando forte tendência à erosão.

Em seguida avaliou-se os mesmos parâmetros para partículas de 500 μm de diâmetro. São exibidas nas Figuras 6, 7 e 8 as geometrias de curva regular, T convencional e T expandido respectivamente. À esquerda são mostrados os resultados do primeiro impacto das partículas, enquanto à direita são exibidas as trajetórias.

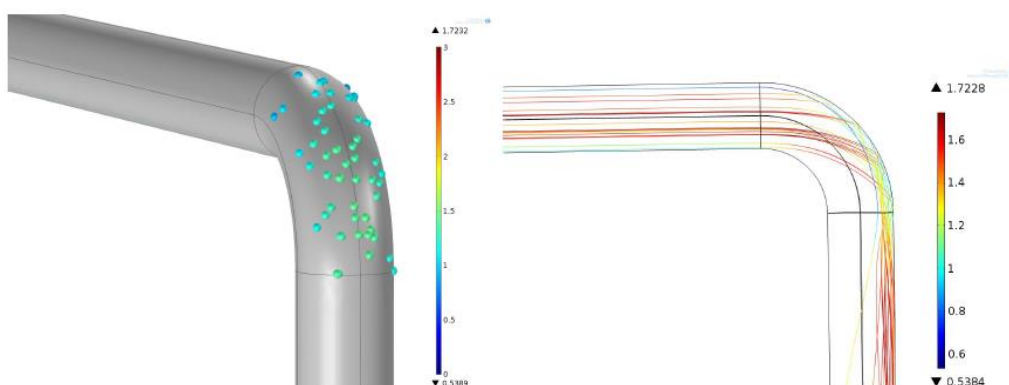
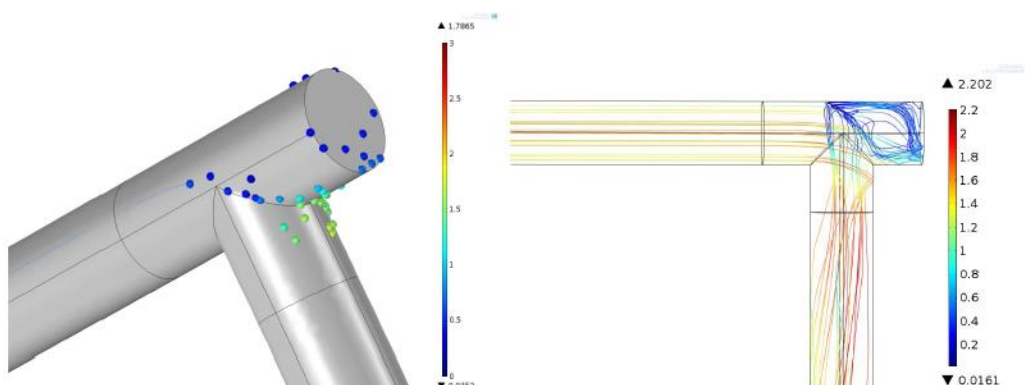
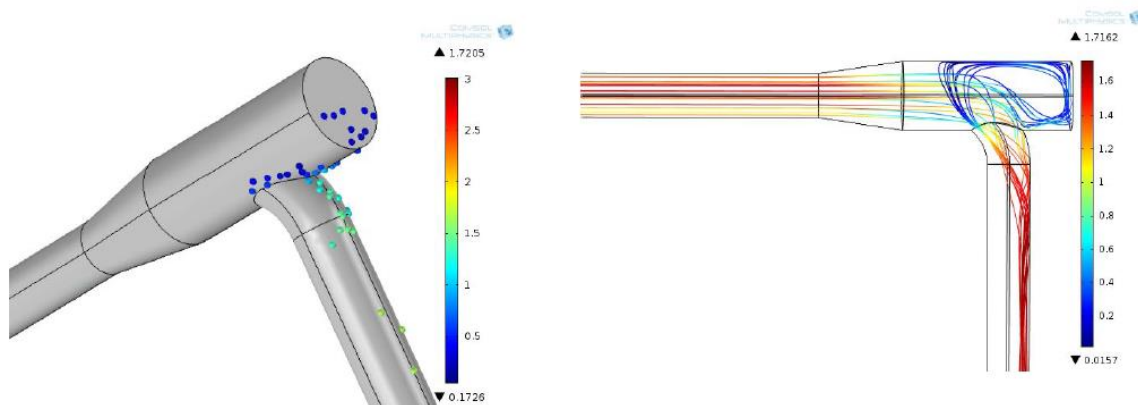
Figura 6 – Curva Convencional com Partículas de 500 μm Figura 7 – T Convencional com Partículas de 500 μm 

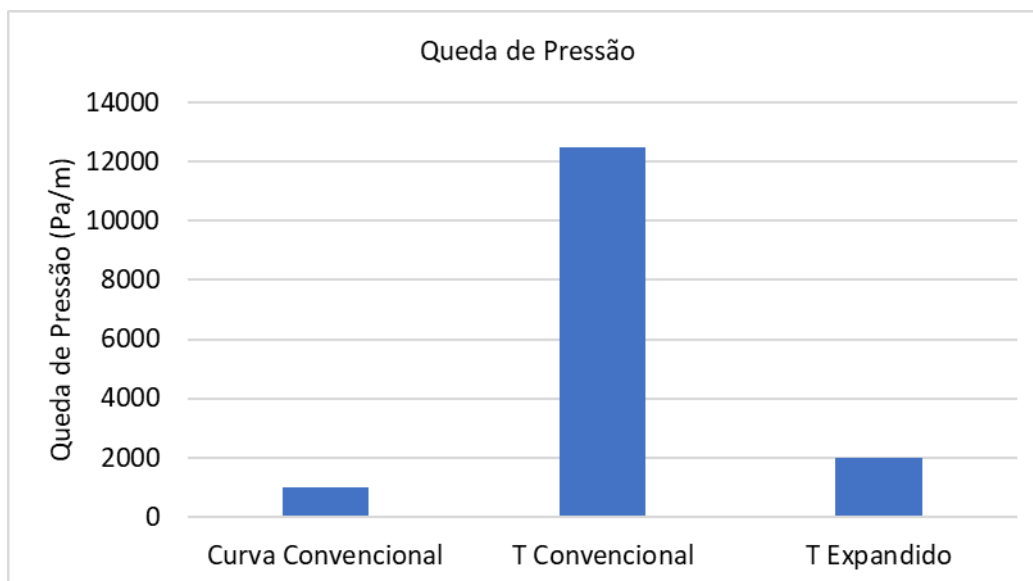
Figura 8 – T Expandido com Partículas de 500 μm Tabela 3 – Parâmetros de Erosão (500 μm)

Geometria	Colisões de Partículas	Velocidade Máxima de Impacto (m/s)	Velocidade Máxima de Trajetória (m/s)
Curva Convencional	100%	1,7232	1,7228
T Convencional	100%	1,7865	2,202
T Expandido	100%	1,7205	1,7162

Observou-se que em todas as geometrias estudadas para uma partícula de 500 μm de diâmetro, 100% das partículas colidiram com a parede da tubulação, isso ocorre devido ao maior momento inercial das partículas. A velocidade máxima de trajetória foi cerca de 22% maior no T convencional, indicando uma maior tendência à erosão. Quando à velocidade máxima de impacto, observou-se que as três geometrias apresentam valores próximo, entretanto é importante destacar que a velocidade média de impacto das partículas é consideravelmente menor no T expandido, principalmente devido ao aumento da seção transversal da tubulação.

Além de reduzir a erosão, a geometria deve ser capaz de evitar quedas bruscas de pressão. É mostrado na Figura 9 a queda de pressão para cada umas das geometrias estudadas.

Figura 9 – Queda de Pressão nas Geometrias



Notou-se que o T convencional apresenta a maior queda de pressão ao longo de sua geometria. Em contrapartida a curva convencional apresenta a menor queda de pressão. O T expandido apresentou queda de pressão próxima da curva convencional, o que justifica seu uso devido aos bons resultados na análise de erosão.

Conclusões

Diante dos resultados apresentados, é possível afirmar que a geometria em T expandido apresentou os melhores resultados para redução de erosão em tubulações. Foram realizados ensaios com partículas de 250 μm e 500 μm de diâmetro. Em ambos, os parâmetros avaliados foram o número de colisões, as velocidades de impacto e trajetória, além de uma análise qualitativa do ângulo de impacto.

No ensaio de 250 μm , a curva convencional e o T expandido apresentaram valores aproximados de colisões e velocidades máximas de impacto e de trajetória. Porém quando avaliou-se qualitativamente o ângulo de impacto, observou-se que o T expandido tende a gerar menos erosão. Quanto ao T convencional, notou-se que os parâmetros indicam alta erosão nas paredes da tubulação.

No ensaio de 500 μm observou-se que 100% das partículas chocaram-se com as paredes da tubulação devido, principalmente ao maior momento inercial das partículas. Assim como no ensaio de 250 μm , as velocidades de impacto e trajetória da curva convencional e do T expandido são semelhantes, enquanto o T convencional apresenta velocidade máxima cerca de 22% maior. Quanto ao ângulo de impacto, notou-se que o T expandido apresentou os melhores resultados para redução de erosão.

Na indústria, a queda de pressão é de grande importância, portanto além dos ensaios com partículas, foi avaliada a queda de pressão nas geometrias estudadas. A queda de pressão no T convencional foi significativamente maior quando comparada à curva convencional e o T expandido. Os valores destas geometrias podem ser considerados próximos, com o T expandido possuindo um ligeiro aumento na perda de carga ao longo de sua geometria, porém caso o objetivo seja reduzir a erosão, sua aplicação é válida.

Outro fator a favor do T expandido é a possibilidade de se usar materiais mais resistentes na região de maior impacto, ou até mesmo peças rosqueáveis que facilitem e agilizem a troca reduzindo o tempo de parada de plantas de processo.

Agradecimentos

Aos meus pais.

Referências Bibliográficas

EDWARDS J. K., MCLAURY B. S., SHIRAZI S. A. **Modeling Solid Particle Erosion in Elbows and Plugged Tees**. Department of Mechanical Engineering, The University of Tulsa, Tulsa, Oklahoma, EUA, 2001.

FAN, J. R., YAO J., CEN K. F. **Antierosion in a 90° Bend by Particle Impaction**. Institute of Thermal Power Engineering and CE&EE, Zhejiang University, Hanzhou, Zhejiang, China, 2002.

FAN J. R., YAO J., ZHANG X. **Experimental and Numerical Investigation of a New Method for Protecting Bends from Erosion in Gas-Particle Flows**. Institute of Thermal Power Engineering and CE&EE, Zhejiang University, Hanzhou, Zhejiang, China, 2001.