ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DEFLETORES EM RISER DE FCC SOBRE O ESCOAMENTO GÁS-SÓLIDO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

R. P. BRITO¹, V. ARMELLINI¹, D. C. PELISSARI¹, W. MARTIGNONI² e M. MORI¹

¹ Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química

² Petrobrás

E-mail para contato: rosebricia@gmail.com

RESUMO – Estudos em risers de craqueamento catalítico fluidizado (FCC) ainda são bastante limitados, pois são difíceis de serem avaliados experimentalmente. Dentro desse contexto, muitos trabalhos utilizando fluidodinâmica computacional (CFD) tem sido empregados em risers de FCC. Muito se tem estudado na melhor distribuição da carga e homogeneização do sistema para gerar maior conversão dos produtos. Portanto, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a influência de defletores em riser de FCC sobre o escoamento a fim de obter maior conversão de produtos. Foram realizadas simulações numéricas para um riser sem defletor e um riser com defletor. Os resultados apontam que defletores em riser de FCC podem ocasionar mudanças no escoamento proporcionando maior homogeneização no sistema.

1. INTRODUÇÃO

Em um riser de FCC, frações pesadas de petróleo são quebradas e convertidas em produtos de alto valor agregado como gasolina, diesel e GLP. O craqueamento ocorre através da mistura da carga alimentada no riser com um catalisador. A carga é inserida através de bicos injetores, no fundo do riser são adicionados vapor d'água e pela entrada lateral são adicionados vapor d'água e catalisadores. Ao misturar com o catalisador quente, a carga é vaporizada quase que instantaneamente, dando início às reações de craqueamento (Behjat *et al.*, 2010).

A fluidodinâmica dentro do riser é de caráter heterogêneo e com acúmulo de partículas de catalisador na parede. Esse padrão de escoamento, conhecido como *core-annulus* (centro-anular), já foi observado para as mais diversas condições de operação, diâmetros de coluna e propriedade dos sólidos (Zanhg *et al.*, 1991). A concentração de partículas próximo à parede pode provocar fluxo descendente nesta região ocasionando queda no rendimento do processo, pois afeta o tempo de residência do catalisador, diminuindo a sua vida útil e gerando gasolina craqueada (Agrawal *et al.*, 2001).

Sabe-se que diferentes geometrias de riser afetam a dinâmica do escoamento e, conseqüentemente, o rendimento do processo. Nesse sentido, diversos pesquisadores tem se dedicado a estudar risers com diferentes geometrias. Dentro desse contexto, defletores em risers tem despertado o interesse dos pesquisadores com a finalidade de minimizar o acúmulo

de partículas sólidas na parede e garantir uma melhor distribuição e uniformidade entre as fases dentro de um riser de FCC (Johnson e Dayvood, 2014).

2. METODOLOGIA CFD

A primeira etapa consistiu em definir as geometrias do sistema. Todas as geometrias foram criadas utilizando o software comercial ANSYS Design Modeler (versão 17). A geometria do riser sem defletor baseou-se no equipamento descrito por Ali *et al* (1997). As dimensões do riser foram de 33 metros de altura e 0,8 metros de diâmetro. Os bicos injetores foram situados a 5 metros acima do fundo do riser. A configuração da geometria para o riser com defletor foi a mesma utilizada para o riser sem defletor, porém com a adição do defletor à 10 metros do fundo do riser. Mais detalhes da geometria podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 – Configuração do riser com a presença de defletor.

A próxima etapa consistiu em gerar a malha numérica utilizando o software ANSYS Mesh 17.0. Foram geradas malhas não estruturadas, com elementos tetraédricos no centro e elementos de primas próximo à parede. Realizou-se também o teste de independência de malhas para o riser sem defletor, cujas malhas analisadas foram da ordem de 400 mil a 900 mil volumes de controle. Uma vez criada a malha, a mesma foi exportada para o software ANSYS Fluent 17.0, onde foram realizadas as simulações tridimensionais. Em todas as malhas empregou-se a mesma modelagem matemática e condições de operação, os quais estão expostos de forma sucinta nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Condições iniciais de operação

Parâmetros	Medidas	Parâmetros	Medidas
Temperatura de entrada do catalisador	900 K	Fração volumétrica de sólidos	0,54
Temperatura de entrada da alimentação	500 K	Massa específica do gasóleo vaporizado	6 kg/m ³
Fluxo de alimentação de gasóleo	25 kg/s	Massa específica do catalisador	1400 kg/m ³
Fluxo de alimentação de catalisador	340 kg/s	Vapor d'água (% em massa)	3
Velocidade do vapor d'água	6 m/s		

Tabela 2 – Modelagem matemática empregada para cada aspecto do sistema

Aspectos do sistema	Modelo
Aproximação bifásica	Abordagem euleriana-euleriana
Fenômenos de Transportes	Equações de conservação de momento, energia e massa
Interação gás-sólido	Modelo de arraste EMMS
Turbulência	Modelo Reynolds Stress (RSM)
Cinética	Modelo de 11 <i>lumps</i> (BARBOSA, 2012)
Regime	Transiente
Tempo de simulação	30 segundos (cálculo da média: 10 segundos finais)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A modelagem matemática empregada neste trabalho foi embasada no trabalho de Armellini (2015), cujos resultados das simulações numéricas se aproximaram dos resultados experimentais. A validação da modelagem fluidodinâmica e cinética foram baseadas nos dados experimentais obtidos por Parssinen e Zhu (2001) e Ali *et al.* (1997), respectivamente.

Neste trabalho, a independência de malha se obteve a partir da malha de 700 mil elementos até à malha de 800 mil elementos. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos do teste de malha para a queda de pressão e fração mássica de gasolina na saída do riser.

Tabela 3 – Resultados do teste de malha na saída do riser

Volumes de controles	Queda de Pressão (10 ³ Pa)	Fração Mássica de Gasolina (% em massa)
400	41,84	41,8
500	42,99	42,0
600	42,75	41,8
700	42,87	41,7
800	42,86	41,7
900	43,62	41,6

A Figura 2 mostra os perfis radiais da fração volumétrica na altura de 9,5 m e 10,5 m do riser, ou seja, antes e depois da passagem do defletor.

Figura 2 – Perfis radiais à 9,5 m e 10,5 m do riser sem defletor e do riser com defletor.

Como já era esperado, o riser sem defletor não apresentou grandes mudanças no escoamento, ocorreu apenas uma pequena diluição de catalisador próximo à parede, pois a concentração de sólidos próximo à parede vai diminuindo com a elevação do riser. Todavia, mesmo com a diluição da concentração de sólidos, o padrão *annulus* no riser sem defletor não foi quebrado. O riser com defletor apresentou mudanças na direção do escoamento, além da quebra do padrão *annulus*. O defletor foi capaz de desprender partículas de catalisador da parede, proporcionando maior interação com a fase gasosa que escoava pelo centro do riser e, consequentemente, maior conversão de produtos.

Os resultados experimentais de Chen (2006) mostram que a utilização de estruturas internas em riser otimizam a distribuição do catalisador e a hidrodinâmica do processo, o que corrobora com os resultados numéricos obtidos neste trabalho.

4. NOMENCLATURA

FCC – Fluidized Catalytic Cracking (Craqueamento Catalítico Fluidizado)

5. REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, K.; LOEZOS, P. N.; SYAMLAL, M.; SUNDARESAN, S. The role of meso-scale structures in rapid gas-solid flows. *Journal of Fluid Mechanics*, v. 445, p.151-185, 2001.
- ALI, H.; ROHANI, S.; CORRIOU, J. P. Modeling and control of a riser type fluid catalytic cracking (FCC) unit. *Chemical Engineering Research and Design*, v.75, p.401-412, 1997.
- ARMELLINI, V. A. de D. *Estudo computacional da influência de bicos injectores e internos em risers industriais de FCC*. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.
- BEHJAT, Y., SHAHHOSSEINI, S., MARVAST, M. A. Simulation study of droplet vaporization effects on gas-solid fluidized bed. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 42, p.419-427, 2010.
- CHEN, Y. M., 'Recent Advances in FCC Technology. *Powder Technol.*, 163, 2006.
- JOHNSON, D. R.; DAVYDOV, L. *Baffles for improving riser hydrodynamics*. United States patent US 8877132B2, 4 nov. 2014.
- ZHANG, W.; TUNG, Y.; JOHNSON, F. Radial voidage profiles in fast fluidized beds of different diameters. *Chemical Engineering Science*, v. 46, p. 3045-3052, 1991.
- PÄRSSINEN J. H.; Zhu J. X. Axial and radial solids distribution in a long and high-flux CFB riser, *AIChE Journal*, v. 47, p. 2197-2205, 2001.