



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

ANÁLISE DO ESCOAMENTO BIFÁSICO GÁS-SÓLIDO NO RISER DE FCC DE UMA UNIDADE PILOTO A FRIO VIA CFD

Herusca Hellyca Souza de Medeiros¹; Jéssica Lacerda de Oliveira²; Thiago José dos Santos³; Tercio Rodrigues Barreto de Matos⁴ Enivaldo Santos Barbosa⁵

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia de Mecânica - herusca@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica - jessicalacerda07@hotmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica - thiagotjsantos@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica - terciopetromatos@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica - enivaldo.sb@gmail.com

RESUMO

É notória a necessidade do aumento na produção de combustíveis automotivos no mundo, principalmente da gasolina, observando esta necessidade o craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) foi desenvolvido. Visando aprimorar este processo e assim maximizar a produção, muitos mecanismos foram aplicados, dentre eles a modelagem matemática de escoamento bifásico gás-sólido, que representa uma ferramenta auxiliar para a minimização dos esforços experimentais requeridos no desenvolvimento de instalações industriais. Objetivo deste trabalho é estudar a modelagem matemática, entender os conceitos físicos das equações diferenciais obtidas na modelagem do escoamento multifásico em processos de fluidização, para descrever o escoamento bifásico gás-sólido em um reator de FCC, do tipo riser de uma unidade piloto a frio (UPF). Metodologicamente primeiro foi definidas as equações, em seguida as condições de contorno e propriedades físicas, depois a geometria e por fim a malha numérica. Através dos estudos realizados foi possível identificar a influência da fase sólida no escoamento hidrodinâmica no riser de um processo de craqueamento catalítico do petróleo, como mudanças de velocidade superficial, pressão e frações volumétrica de gás e sólido. Os resultados iniciais obtidos utilizando o modelo multifásico disperso gás-sólido mostraram-se bastante satisfatórios, apresentando coerência qualitativa com o problema físico proposto.

Palavras chave: FCC, ESCOAMENTO BIFÁSICO, MODELAGEM COMPUTACIONAL

1. INTRODUÇÃO

Observando todo o ciclo do petróleo e do refino no mundo, é notória a necessidade do aumento na produção de combustíveis automotivos, dentre eles, principalmente da gasolina. Então, visando esta necessidade o craqueamento catalítico

em leito fluidizado (FCC) foi desenvolvido e posteriormente aprimorado. O FCC foi um ininterrupto aperfeiçoamento da destilação e do craqueamento térmico de gasóleo cru, 30% da gasolina é produzida mundialmente através deste processo. O processo FCC é considerado um processo de alta rentabilidade econômica pelo fato de utilizar como carga um produto de baixo valor comercial, o gasóleo de vácuo,

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

que se não fosse utilizado na unidade de FCC, seria simplesmente adicionando ao óleo combustível, daí sua importância no contexto da produção mundial de gasolina automotiva, naftas, óleo diesel, gasolina de aviação, dentre outros produtos, com maior valor agregado, no mercado. No cenário brasileiro este processo tem uma importância significativa, tendo em vista que a maioria do petróleo nacional produzido ser de baixo grau API.

O processo de craqueamento catalítico é menos severo devido à presença do catalisador, com características ácidas, que acelera as reações de craqueamento. Opera com pressões pouco acima da pressão atmosférica, em torno de 102 kPa e temperaturas na faixa de 490° a 586°C, dependendo do projeto do conversor e do tipo de carga [BRASIL, 2012].

O *riser* de FCC pode ter diâmetros variando entre 1 e 3 m. Segundo Sadeghbeigi [2000], os diâmetros mais comuns são de 60 a 180 cm, sendo que o tempo de residência no equipamento é da ordem de 1 a 4 segundos. O tempo de residência da carga, que também tem relação com a altura da coluna, entre 25 e 30 metros, é importante para garantir a proporção adequada de produtos, já que, caso não ocorresse interrupção da reação, os produtos de saída seriam apenas

carbono, oxigênio e hidrogênio [BRASIL et al., 2012].

A alta temperatura do catalisador, da ordem de 700°C, provoca a vaporização imediata da carga, fazendo com que as altas vazões de vapor de mistura sejam geradas e, naturalmente, levadas ao topo do *riser*. A velocidade média do vapor de saída atinge entre 15,2 e 22,8 m/s, proporcionando um tempo de residência médio de 2 segundos [SADEGHBEIGI, 2000].

A fluidização gás-sólidos tem variadas aplicações industriais entre as quais se incluem as indústrias de petróleo, química, metalúrgica e de geração de energia. As plantas de craqueamento catalítico em leito (FCC) são um dos mais importantes reatores em larga escala, na indústria do petróleo. FCC é considerado como um processo primário em uma refinaria de petróleo. A sua principal finalidade é converter hidrocarbonetos de alto peso molecular em gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), diesel e insumos para a indústria petroquímica aumentando, deste modo, o valor agregado da matéria-prima processada, tornando-se o processo de conversão secundária em uma refinaria de petróleo desde 1942. Cerca de 45% da gasolina produzida mundialmente é oriunda do processo de FCC e de unidades de alquilação. Existem

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

atualmente cerca de 400 reatores FCC no mundo, operando dia e noite para satisfazer as necessidades de nossas sociedades insaciáveis, com a capacidade total de processamento de cerca de 12 milhões de barris de petróleo por dia [LEVENSPIEL, 2000].

Tradicionalmente quando nos referimos ao escoamento de óleo, água e gás, chamado de fluxo multifásico, porém na verdade trata-se de um escoamento bifásico, onde uma das fases é gasosa e a outra líquida.

A modelagem matemática de escoamento bifásico gás-sólido, dos processos de fluidização em leito circulante, representa uma ferramenta auxiliar para a minimização dos esforços experimentais requeridos no desenvolvimento de instalações industriais. A experimentação e o desenvolvimento de protótipos são ferramentas principais no projeto de qualquer processo industrial em engenharia. No entanto, os procedimentos de modelagem matemática e simulação numérica estão em constante desenvolvimento contribuindo de forma crescente para uma melhor compreensão de processos e fenômenos físicos. Além disso, os modelos do processo de fluidização necessitam, para sua validação, de medições experimentais complexas de difícil execução. Assim, o

desenvolvimento de modelagem do escoamento multifásico também representa um estímulo ao desenvolvimento de novas técnicas e métodos experimentais [RABINOVICH & KALMAN, 2011].

Objetivo deste trabalho é estudar a modelagem matemática, entender os conceitos físicos das equações diferenciais obtidos na modelagem do escoamento multifásico em processos de fluidização, para descrever o escoamento bifásico gás-sólido em um reator de FCC, do tipo *riser* de uma unidade piloto a frio (UPF), especificamente em leitos fluidizados circulantes gás-sólidos, baseado nos princípios de conservação de massa e quantidade de movimento linear, além das equações constitutivas para os diversos componentes.

1.1. Craqueamento catalítico em leito fluidizado

O craqueamento catalítico fluido é um processo universalmente utilizado no refino de petróleo. Esta unidade foi desenvolvida na época da segunda guerra mundial e objetivava aumentar a produção de gasolina sem aumentar a capacidade de refino de petróleo [MOREIRA, 2006].

No processo de FCC, a carga é gasóleo proveniente da destilação a vácuo, e que seria utilizado como óleo

combustível, então essa carga entra em contato com um catalisador a uma temperatura elevada, ocorrendo a ruptura (“*cracking*”) das cadeias moleculares, dando origem a uma mistura de hidrocarbonetos que são posteriormente fracionados [ABADIE, 2002]. Como é visto na Figura (1).

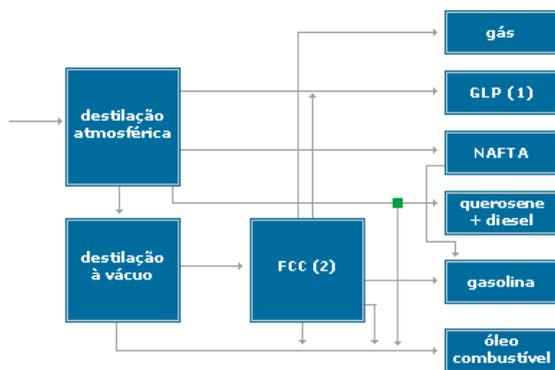


Figura 1: Esquema de Refino com uma unidade de FCC. Fonte: Agência Nacional de Petróleo, 2015.

1.2. Escoamento gás-sólido em um reator de Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado

Segundo Georg [2005] os reatores de craqueamento catalítico em leito fluidizado apresentam uma distribuição de sólidos não homogênea, com regiões de alta e baixa concentração de sólidos, como apresentado esquematicamente na Figura 2. A formação de aglomerados de partículas (*clusters*), e sua influência nas

taxas de reação e fluido dinâmica são de difícil abordagem matemática, pelo fato de encontrar-se campos de velocidade, tensões, cinética e distribuição de temperatura diferenciadas em cada uma das regiões do reator.

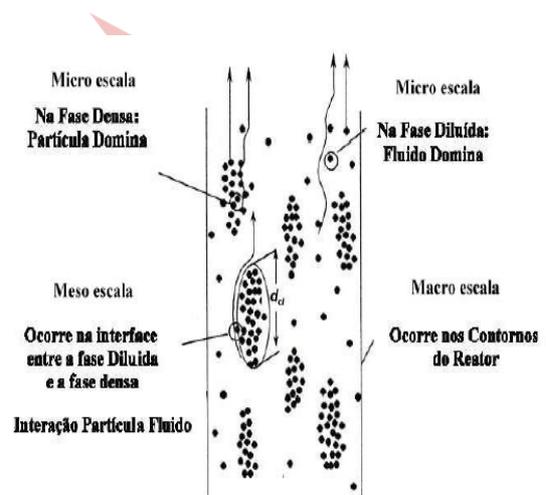


Figura 2: Esquema das escalas espaciais e não homogeneidades em um reator FCC. Fonte: GEORG, (2005).

Há ainda os aspectos associados às diferentes escalas espaciais e temporais em que estas estruturas denominadas *clusters* encontram-se, exigindo desta forma o estudo de escala adequado para captá-los e assim caracterizá-los.

Estas estruturas ocorrem na chamada meso-escala e tem dimensões típicas de 50 a 100 diâmetros de partícula, o que corresponde a poucos milímetros. Meso-escala significa neste contexto, a escala entre a micro-escala, que

corresponde à dimensão de uma partícula, e a macro escala, que corresponde à dimensão lateral do reator. Estas estruturas presentes na meso-escala são constantemente formadas e destruídas [AGRAWAL, 2000].

Este processo leva a flutuações locais persistente na concentração dos sólidos e na velocidade relativa entre gás e sólidos. Em termos de média temporal, estas flutuações levam a uma distribuição não uniforme da concentração de sólidos na macro escala, por exemplo, sendo maior junto às paredes do reator, do que no centro. Esta não uniformidade gera um fluxo descendente de partículas e gás junto às paredes, podendo gerar segregação. Os padrões de segregação variam consideravelmente com a mudança de escala, segundo Kunni e Levenspiel [1991], influenciando o tempo de residência das partículas, levando à recirculação de sólido, fenômeno bem conhecido em FCC's. Este fato é de importância fundamental quando da extrapolação de dados de reatores piloto para reatores industriais. Os padrões hidrodinâmicos têm um papel fundamental no escalonamento e projeto de unidades industriais. Por este e outros motivos, há um grande interesse no melhor entendimento da origem destas estruturas,

e como estas levam à segregação do macro escala.

Assim nota-se as dificuldades na modelagem e simulação do escoamento gás-sólido reativo no interior de um reator FCC, e o grande desafio que representa a abordagem e o entendimento dos complexos fenômenos encontrados em um processo de craqueamento catalítico em leito fluidizado.

2. METODOLOGIA

As fases presentes no escoamento bifásico são representadas pelas letras α e β . As condições feitas para o escoamento bifásico (gás-sólido) foram: escoamento isotérmico, sem transferência de massa, estacionário, incompressível e propriedades termo físicas constantes, tendo as seguintes equações governantes:

Equação da continuidade para as fases continua (ar) e dispersa (sólido):

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_{\alpha}\rho_{\alpha}) + \nabla \cdot (f_{\alpha}\rho_{\alpha}\vec{U}_{\alpha}) = 0 \quad (1)$$

onde f é a fração volumétrica, ρ é a densidade e $\vec{U} = (u, v, w)$ é o vetor velocidade correspondente a cada fase.

A equação da quantidade de movimento é dada por:



$$\frac{d}{dt} (f_g \rho_g \vec{U}_g) + \nabla \cdot (f_g (\rho_g \vec{U}_g \vec{U}_g)) = -f_g \rho_g + \nabla \cdot (f_g \mu_g [\vec{U}_g + (\vec{U}_g)^T]) + S_{Mg} + M_g \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} (f_s \rho_s \vec{U}_s) + \nabla \cdot (f_s (\rho_s \vec{U}_s \vec{U}_s)) = -f_s \rho_s + S_{Ms} + M_s \quad (3)$$

onde considerando uma fase α , ρ é densidade, \vec{U} é o vetor velocidade, μ é a viscosidade dinâmica, $S_{M\alpha}$ descreve as forças de momento devido às forças de corpo externas (força gravitacional) e $M\alpha$ descreve as forças interfaciais totais (arraste, força de dispersão turbulenta na interface, força de lubrificação na parede) agindo na fase α devido à presença de outras fases.

As forças interfaciais agindo na fase \vec{U} , devido à presença de outras fases, são definidas por:

$$\vec{M}_\alpha = \sum_{\beta \neq \alpha} \vec{M}_{\alpha\beta} \quad (4)$$

onde \vec{M}_α é a transferência de momento interfacial entre as fases α e β .

A força de arrasto interfacial por unidade de volume agindo na fase β devido à presença da fase α é expressa em função da velocidade relativa como:

$$\vec{M}_{\alpha\beta}^D = \varphi (\vec{U}_s - \vec{U}_\alpha) \quad (5)$$

O coeficiente de transferência de quantidade de movimento entre as fases, φ , é definido através do modelo de Gidaspow que é uma combinação do

modelo de Wen e Yu para a região diluída e a equação de Ergun para a fase densa.

$$\varphi = \begin{cases} 150 \frac{\varepsilon_p^2 \mu_g}{\varepsilon_g (d_p \phi_p)^2} + 1,75 \frac{\varepsilon_p \rho_g |\vec{U}_g - \vec{U}_p|}{\varepsilon_g (d_p \phi_p)} & ; \varepsilon_p \geq 0,2 \\ \frac{3}{4} C_d \frac{\varepsilon_p \rho_g |\vec{U}_g - \vec{U}_p|}{d_p \phi_p} \varepsilon_g^{-2,65} & ; \varepsilon_p < 0,2 \end{cases} \quad (6)$$

O coeficiente de arrasto, é uma função do número de Reynolds para uma partícula esférica imersa em um escoamento é definido por:

$$C_d = \begin{cases} \frac{24}{Re_p} (1 + 0,15 Re_p^{0,687}) & ; Re_p < 1000 \\ 0,44 & ; Re_p > 1000 \end{cases} \quad (7)$$

O número de Reynolds de partícula é definido em função do diâmetro médio da partícula e das propriedades da fase contínua, e é expresso da seguinte forma:

$$Re_p = \frac{\varepsilon_g \rho_g |\vec{U}_g - \vec{U}_p| d_p \phi_s}{\mu_g} \quad (8)$$

onde d_p é o diâmetro médio da fase dispersa, U_g e U_p são os vetores das fases contínua (g) e dispersa (s), e μ_g , ρ_g e ε_g são respectivamente, a viscosidade, massa específica e fração volumétrica da fase contínua (g).

2.1 Geometria e Malha Numérica

Para o presente estudo, utilizou-se de algumas simplificações na geometria da Unidade Piloto a Frio (UPF) de FCC, que se encontra na Universidade Federal de Pernambuco. Como o objetivo era apenas aplicar uma nova modelagem a um escoamento gás-sólido e tendo também em vista a limitação computacional e temporal, que tornaria inviável simular o conjunto como um todo, optou desenhar apenas o riser, de modo que a recirculação dos sólidos teve de ser modelada no simulador Ansys CFX. A geometria e o domínio computacional que é representado pela malha do riser usado no presente trabalho, Fig. 3.

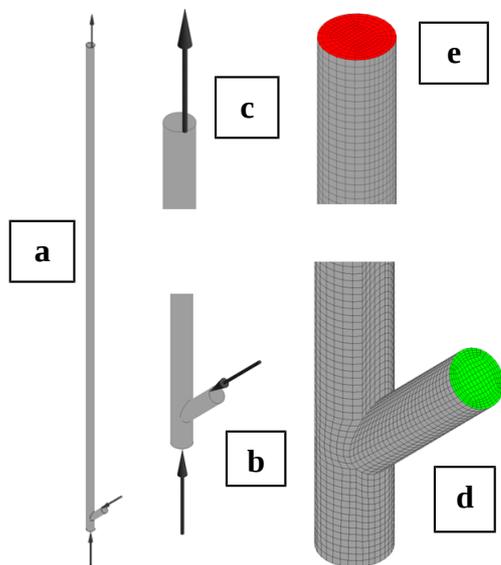


Figura 3: Esquema de um *riser* de uma Unidade Piloto a Frio (UPF) de FCC (*Fluid Catalytic Cracking*). (a) Geometria de um *riser*, (b) detalhes da região de alimentação, (c) detalhes da região de saída do *riser*. E detalhes do domínio

computacional (malha) das regiões de alimentação (d) e saída (e) da geometria em estudo.

2.2 Condições de contorno e propriedades físicas

O escoamento multifásico ocorre na condição de estado estacionário, onde se tem ar como fase contínua, enquanto que o catalisador é considerado fase dispersa no meio. As condições de contornos e propriedades do fluido e do sólido utilizadas na simulação encontram-se respectivamente nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Definição das condições de contorno utilizadas.

Condições de contorno	Vazão volumétrica (L/min)	Fluxo mássico ($\text{kg}/\text{m}^2.\text{s}$)	Pressão (kPa)
Entrada	Ar	1000	-
	Catalisador	-	72
Saída	-	-	104,257

Tabela 2: Definição das condições de contorno utilizadas (fração volumétrica das fases).

Condições de contorno	Fração volumétrica das fases		
	Ar	Sólido	
Entrada de	Ar	1	0
	Catalisador	0,1	0,9
Saída	-	-	-

Tabela 3: Propriedades do fluido e do sólido usadas na simulação.

Material	Propriedades	Valor
Ar	ρ (kg/m ³)	1,164
	μ (mPa.s)	0,0186
Catalisador	ρ (kg/m ³)	1200
	D_p (mm)	0,070

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 ilustra as distribuições de pressão, velocidade da fase sólida e as frações volumétricas das fases sólida e gás na região de mistura do *riser* da UPF, sobre o plano zy. Nota-se uma região de recirculação na entrada do catalisador Fig. 4b, uma certa quantidade de sólido desprende-se do fluxo de catalisador, entrando em contato com o fluxo de ar e sendo arrastado pelo mesmo para regiões superior do *riser*, como pode ser observado nas Fig. 4c e 4d.

A Figura 5 está representada a distribuição radial da fração volumétrica do catalisador no plano xy ao longo do *riser* da UPF para diferentes posições axiais do *riser*. Observa-se que a região de maior valor de fração volumétrica de catalisador encontra-se distribuído

radialmente junto à parede do *riser*, do mesmo lado à entrada de catalisador, como poder ser também observado na Fig.4, ao longo do *riser* para diferentes posições axiais do *riser*.

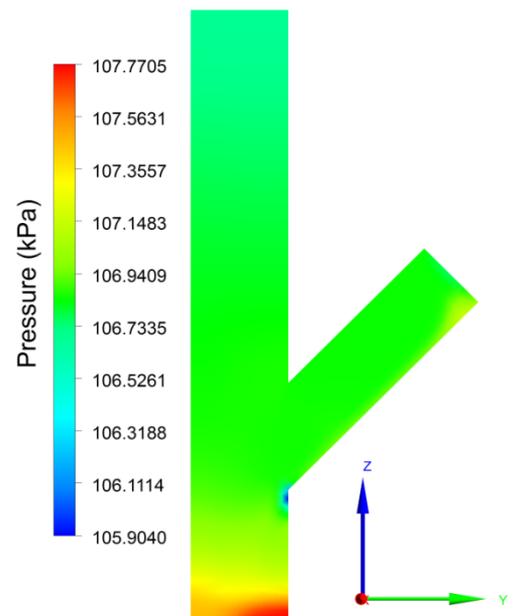
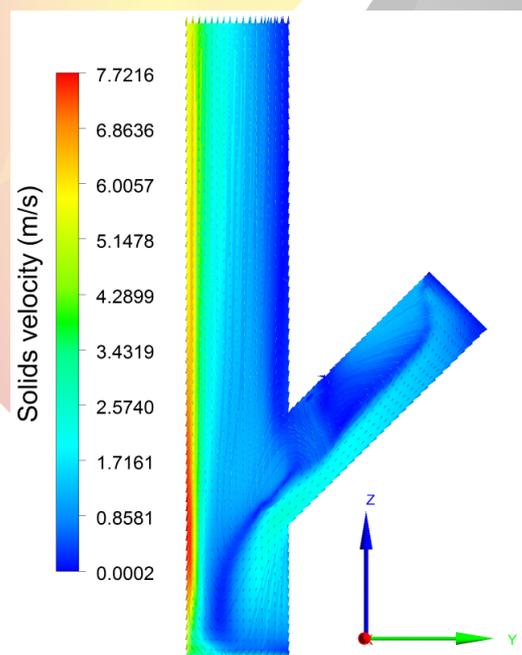


Figura 4(a): Detalhe das distribuições das variáveis: (pressão).





II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Figura 4(b): Detalhe das distribuições das variáveis (velocidade do sólido).

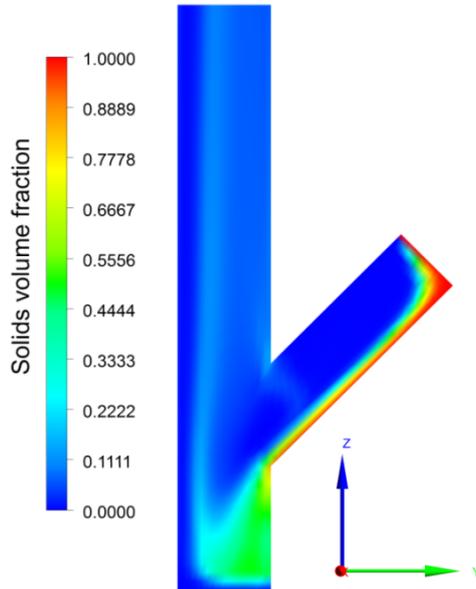


Figura 4(c): Detalhe das distribuições das variáveis (frações volumétricas da fase sólida).

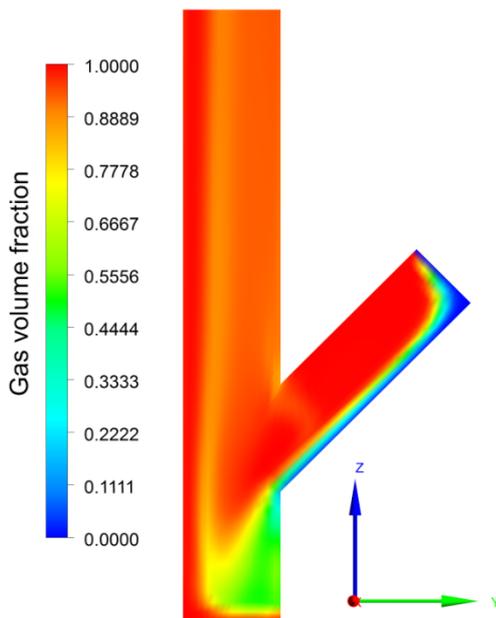


Figura 4(d): Detalhe das distribuições das variáveis: (frações volumétricas da

fase gasosa para $z \approx 600$ mm, nas regiões das entradas, conforme apresentado na Figura 6(b).

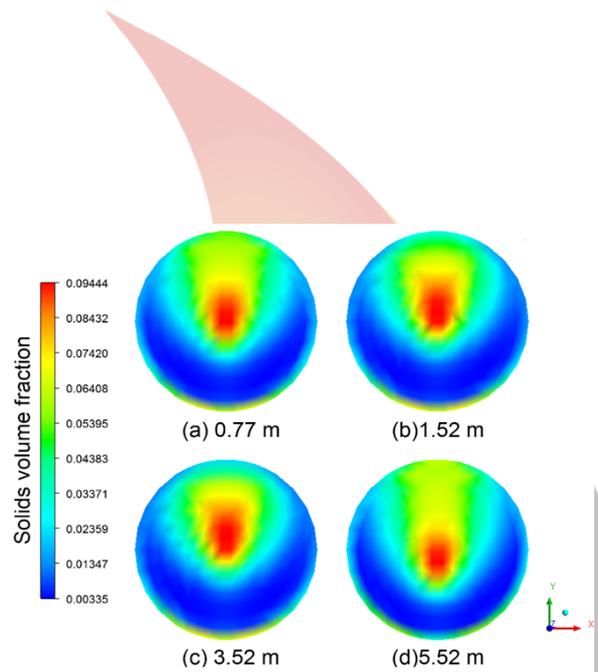


Figura 5: Representação da fração volumétrica do catalisador no plano xy, nas posições axiais: 0.77m, 1.52m, 3.52m e 5.52m, respectivamente, ao longo do riser.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo matemático capaz de prever o escoamento bifásico gás-sólido em um reator tipo *riser* no processor que leva em

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

consideração o escoamento simultâneo das duas fases presente no interior do *riser*.

Através dos estudos realizados, foi possível identificar a influência da fase sólida no escoamento hidrodinâmica no *riser* de um processo de craqueamento catalítico do petróleo, como mudanças de velocidade superficial, pressão e frações volumétrica de gás e sólido.

Os resultados iniciais obtidos utilizando o modelo multifásico disperso gás-sólido mostraram-se bastante satisfatórios, apresentando coerência qualitativa com o problema físico proposto.

Desta forma, fica claro a importância de obtenção de conhecimentos para compreensão da hidrodinâmica do escoamento a fim de otimizar o dimensionamento destes equipamentos, com o intuito de diminuir o tempo de residência e promover um melhor contato entre as fases causados por perturbações oriundas do escoamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIE, E..**Curso de Formação de Operadores de Refinaria - Processos de Refino**.PETROBRAS/RH/UC/DTA.Curitiba, 2002

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/>> acesso em 18 de maio de 2015.

AGRAWAL, K. **The role of Meso Scale Structures in Rapid Granular & gas-Solid Flow**.November 2000.

BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; SOUSA, E. C. M. **Processamento de Petróleo e Gás**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CALOZ, Y.P. **Experimental Investigation of Local Solids Fluid Dynamics in Different Industrial-Scale Circulating Fluidized Beds with Optical Probes**. Ph.D. Thesis at Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, 2000.

ERTHAL, R. H. **Modelagem e simulação dinâmica de um conversor de craqueamento catalítico**. 2003. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET), Curitiba, 2003.

FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. **Fenômenos de transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações**. São Carlos: Suprema, 2009, 408 p.

FORTUNA, A. O. **Técnicas Computacionais para Mecânica dos**



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Fluidos – Conceitos Básicos e Aplicações, Editora da USP, 2000.

GEORG, C.I., Maliska, R.C., Porto, M.L. **Modelagem e Simulação Tridimensional de um Reator de Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado – Formação de Clusters**. *Anais do 20 Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás*. Rio de Janeiro. 15 à 18 de junho de 2005

GIDASPOW, D., **Multiphase flow and fluidization: continuum and kinetic theory descriptions with applications**. *Academic Press Limited*, San Diego, California, 1994..

GRACE, J.R. **High-velocity fluidized bed reactors**. *Chemical Engineering Science*, 1953, 1966

FOGLER, H. S. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

KUNII, D., LEVENSPIEL, O., “Circulating fluidized-bed reactors”, *Chemical Engineering Science*, vol. 52, No. 15, pp. 2471-2482, 1996.

LEVENSPIEL, Octave. **Engenharia das Reações Químicas**, Edição 3a. Editora Edgard Blücher: São Paulo, 2000.

LIU, HUI; CHEN, BIAOHUA; LI, CHENGYUE. **Identification of hydrodynamic similarity in risers of**

circulating fluidized beds, *Chemical Engineering Science*, Volume 55, Issue 14, 7 April 2000, Pages 2741-2744. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2509\(99\)00548-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00548-5)>. Acesso em: 23 jan. 2014.

MILIOLI, C. L. C. C.. **Simulação de escoamentos gás-sólido reativos em leitos fluidizados circulantes**, Tese de Doutorado, EESCUSP, 2006.

MINETO, A. T. **Simulação numérica de escoamentos gás-sólido em leito fluidizado borbulhante utilizando a teoria cinética dos escoamentos granulares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP. 2009. 86f.

MOREIRA, F. S., **Alternativas tecnológicas para maximização da produção de olefinas leves a partir de petróleos pesados**. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2006.

PATIENCE, G.S.; CHAOUKI, J.; BERRUTI, F.; WONG, R. **Scaling considerations for circulating fluidized bed risers**, *Powder Technology*, Volume 72, Issue 1, 1 October 1992, Pages 31-37, ISSN 0032-5910. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910\(92\)85018-Q](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-5910(92)85018-Q)>. Acesso em: 23 jan. 2014.

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

RABINOVICH, E.; KALMAN, H.

Flow regime diagram for vertical pneumatic conveying and fluidized bed systems. Powder Technology, v.207, p. 119-133, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591010005528>>. Acessado em: 19 de Novembro de 2014.

SADEGHBEIGI, R. **Fluid Catalytic Cracking Handbook.** 2ª ed. GULF: Houston, 2000.

WEN, C.Y. AND YU,

Y.H. **Mechanics of Fluidization.** Chem Eng. Prog. Symp. Series, 62, 1966, apud, Gidaspow, D. **Multiphase flow and fluidization: continuum and kinetic theory descriptions with applications.** Academic Press Limited, San Diego, California, 1994.

YANG, WEN-CHING. **Handbook of Fluidization and Fluid-particle Systems,** New York: Marcel Dekker Inc., 2003.

**www.conepetro.com
.br**

(83) 3322.3222
contato@conepetro.com.br

