

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:

Análise fluidodinâmica da combustão em um forno de craqueamento térmico utilizando o software CFX

AUTORES:

Tiago da Silva Moreira, José Milton de Oliveira Junior, Regina Ferreira Vianna, José Luis Gomes Marinho

INSTITUIÇÃO:

UFBA - Universidade Federal da Bahia
UFAL - Universidade Federal de Alagoas

ANÁLISE FLUIDODINÂMICA DA COMBUSTÃO EM UM FORNO DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO UTILIZANDO O SOFTWARE CFX

Abstract

Thermal cracking furnaces are of great importance in the petrochemical chain, mainly in the sectors of the first and second generation of this industrial branch. These sectors generate basic inputs for fibers, resins, plastics and chemicals. Its operation is based on the breakdown of large hydrocarbons, using large pressure variations and temperature via chemical reaction. Aiming at a better understanding of this phenomenon, this work has proposed to analyze the fluid dynamics of the combustion in the radiation section of a thermal cracking using the ANSYS CFX 13 computational application. Model, where the equations of conservation of mass, energy in conjunction with the combustion reaction equation and heat transfer by radiation. The sensitivity results through the input gas flow variation of the combustion gas are presented and analyzed, predicting the influence of the incoming combustion gas on the phenomenon in study.

Introdução

Os grandes fornos a gás têm várias aplicações nas indústrias petroquímicas e indústrias para produção de energia. A mais importante da aplicação na indústria petroquímica é craqueamento térmico de hidrocarbonetos para produção de olefinas, diolefinas e aromáticos (Habibi et al., 2007).

No craqueamento térmico é utilizado o forno de craqueamento como principal equipamento, com influencia na eficiência do rendimento, seletividade para produtos importantes e consumo de energia no equipamento (Qian, 2003).

O processo de craqueamento térmico ou pirólise é a conversão de uma substância em outra por meio do uso de calor, isto é, pelo aquecimento da substância na ausência de ar ou oxigênio a temperaturas que podem chegar a 450°C, como pode ser visto na Figura 1 (Weisz et al., 1979).

O arranjo geométrico para fornos de craqueamento é constituído por uma série de tubos retos dispostos paralelamente e unidos entre si por curvas, mostrado na Figura 2 (Reyniers et al., 1994).

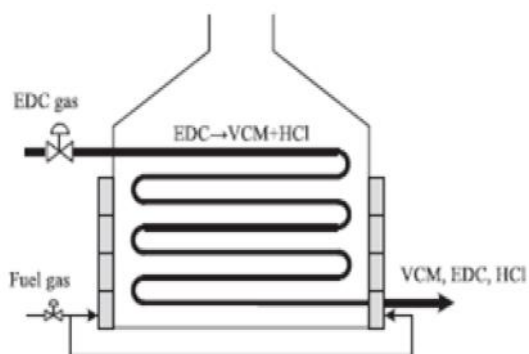


Figura 1 – Processo de pirólise.

Fonte: Panjanpornpon *et al.*, 2012.



Figura 2 – Vista interna da seção radiante.

Fonte: Oliveira, 2014.

Os fornos mais modernos apresentam duas seções de aquecimento distintas: a seção radiante que recebe calor diretamente de uma chama e uma seção convectiva que recebe calor dos gases de combustão que fluem através da chaminé (Rajan, 2002).

Os principais pontos observados nos fornos de pirólise, além da obtenção de altas conversões e a formação de coque no interior das tubulações do reator, é a eficiência da transferência de calor. Isso acarreta alto consumo de combustível que fornece baixo rendimento de conversão no produto. Com isso, a necessidade de parada de operação para desobstrução das tubulações do equipamento gera impactos na produção, refletindo na receita final da unidade industrial.

Para entender melhor como ocorre o processo de pirólise dentro de uma fornalha de craqueamento térmico, utilizou-se técnicas de Fluidodinâmica Computacional (CFD – Computacional Fluid Dynamics) que é um conjunto de ferramentas numéricas e computacionais utilizadas para resolver, visualizar e interpretar a solução das equações de balanço de massa, momento e energia, sendo capaz de reproduzir e prever fenômenos físicos e físico-químicos que ocorrem em um dado escoamento. Atualmente, está recente ferramenta vem sendo cada vez mais difundida em muitas aplicações na indústria química, petroquímica e petróleo e gás.

Este problema é motivo pelo qual se faz necessário a elaboração de uma representação real do forno, que por sua vez servirá de ferramenta de acompanhamento de processo para se buscar o ponto ótimo de operação de uma fornalha de craqueamento térmico.

Metodologia

O estudo foi baseado em um equipamento industrial através das suas medidas de projeto, apenas sua seção radiante, onde encontrasse 10 queimadores alinhados em 4 fileiras em cada lado do forno. Internamente existe o reator tubular, onde sua entrada de produto se dá pelo topo e sua saída na base do equipamento, fazendo curvas na tubulação do reator, representado nas Figura 3 e Figura 4.

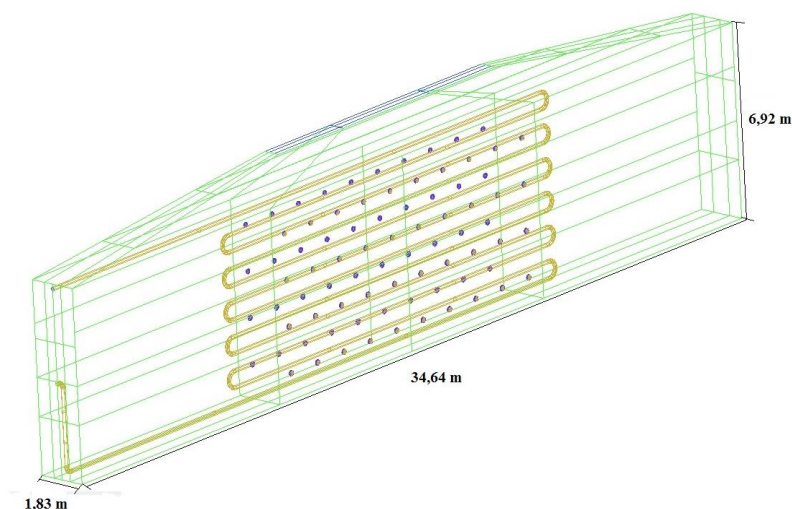


Figura 3 –Modelo da câmara de radiação do forno.

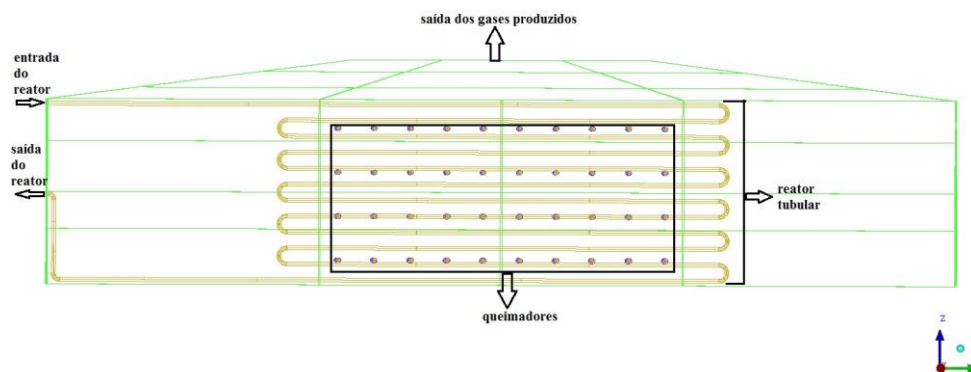


Figura 4 – Configuração da câmara de radiação do forno em uma vista lateral.

A malha utilizada foi não-estruturada com o formato tetraédrico por ter uma melhor adequação nas superfícies não uniformes e também por não demandar um esforço computacional grande (Çencel e Cimbala, 2012). O número total de elementos gerado foi de 6.217.106.

Na modelagem proposta para o presente estudo foram utilizadas as equações de massa, quantidade de movimento e energia, estado de simulação estacionário, efeitos gravitacionais, de turbulência, coordenadas cartesianas e propriedades dos fluidos constantes e também considerando os seguintes fenômenos: reação química de combustão através do modelo Eddy Dissipation, transferência de calor por radiação através do modelo P 1 (que é um modelo de aproximação direcional onde adota a intensidade de radiação sendo isotrópica), e o modelo de turbulência k- ϵ . Nesta modelagem foi adotado um modelo de mistura utilizando a formulação Euleriana-Euleriana.

Na simulação foi utilizado como gás combustível o metano e como oxidante o ar. Os dados foram utilizados do banco de dados do ANSYS, como mostra na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades das substâncias.

	Metano	Ar
Fração Mássica	1,0	0,232 (O ₂)
Densidade (kg/m³)	0,656	1,185

O regime estacionário foi adotado para as realizações das simulações e com as seguintes condições de contorno, tabela 2.

Tabela 2 – Condições de contorno.

Configuração	Valor
Entrada de ar (m/s)	25
Pressão de saída (atm)	1
Temperatura inicial (K)	300

Para a velocidade da entrada do gás combustível, metano, foi estudada sua sensibilidade com três diferentes velocidades, tabela 3.

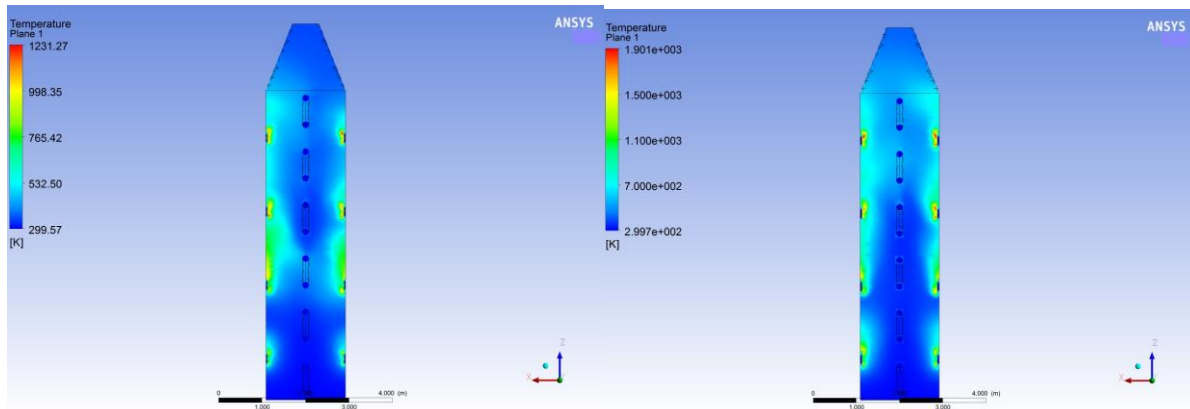
Tabela 3 – Velocidade de metano utilizada nas simulações.

Número de teste	Velocidade de entrada de metano (m/s)
1	12,5
2	25
3	50

Resultados e Discussão

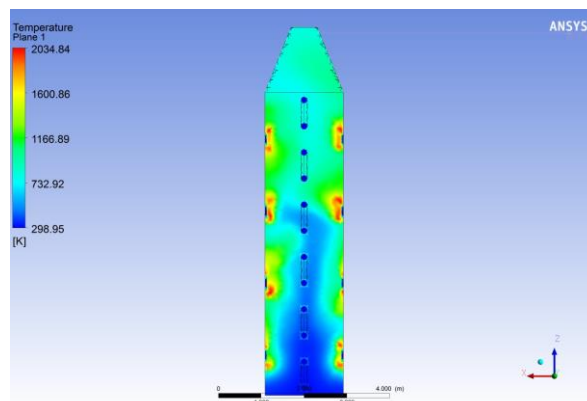
O pacote computacional comercial ANSYS CFX, versão 13.0, foi utilizado para a realização das simulações em um computador com configuração básica de processador de 4 núcleos de 3,60 GHz da Intel (i7) e memória RAM de 8 Gb.

Para melhor visualização dos fenômenos, foi gerado um plano XZ no comprimento 15,24 m onde foram analisados os resultados.



$v = 12,5 \text{ m/s}$

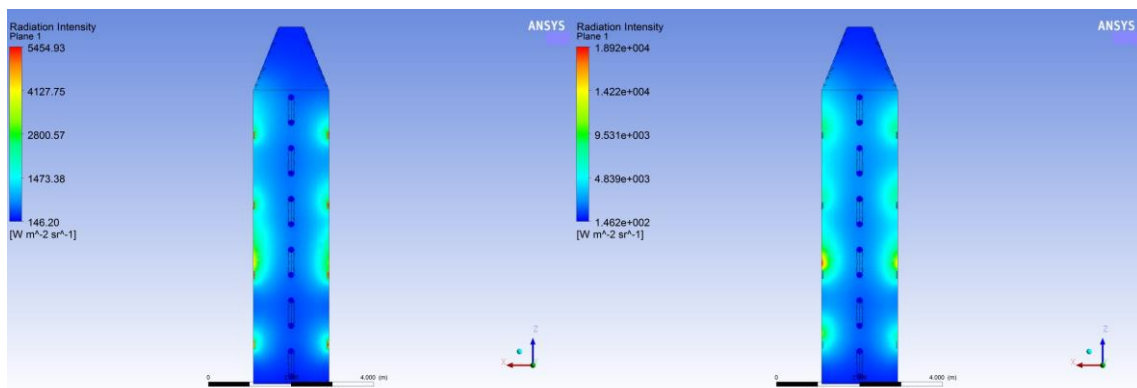
$v = 25 \text{ m/s}$



$v = 50 \text{ m/s}$

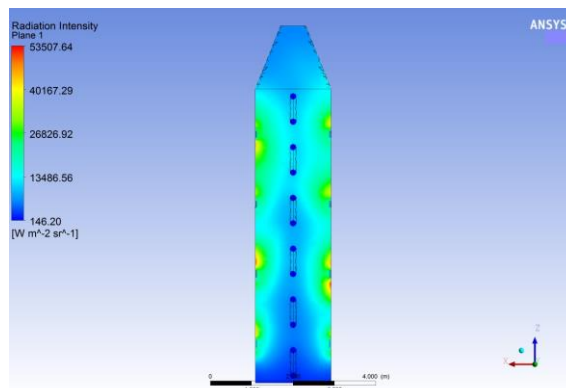
Figura 5 – Temperatura do forno.

Na figura 5, o forno que teve maior temperatura em seu sistema foi o $v = 50 \text{ m/s}$, o dobro da velocidade do ar de entrada. Nele há uma maior distribuição de aquecimento no sistema, com relação aos outros casos, que em geral a distribuição de temperatura foi perpendicularmente a parede do sistema.



$v = 12,5 \text{ m/s}$

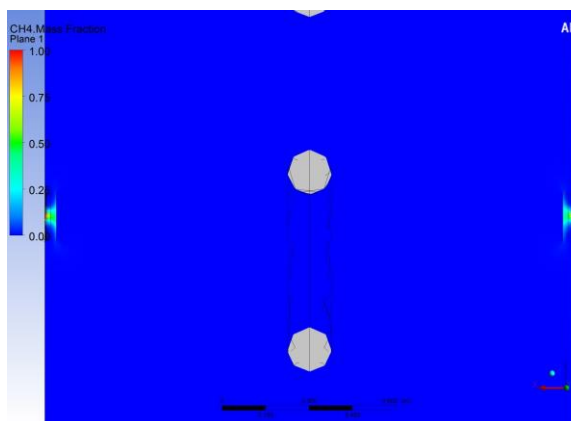
$v = 25 \text{ m/s}$



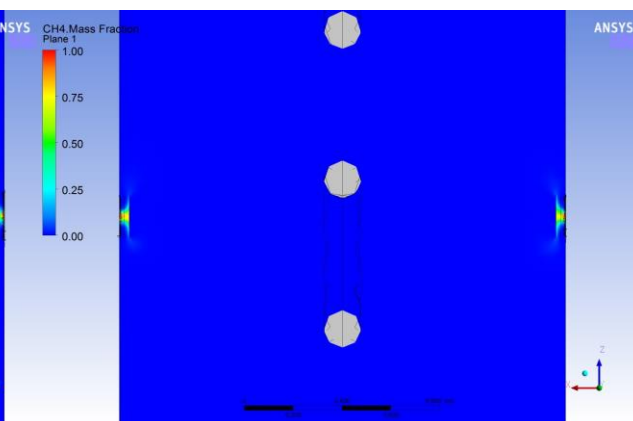
$$v = 50 \text{ m/s}$$

Figura 6 – Intensidade de radiação do forno.

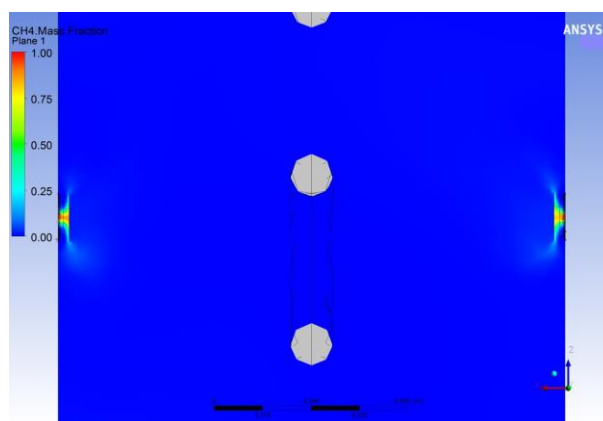
A figura acima mostra a intensidade de radiação no sistema, onde ocorre uma uniforme distribuição da radiação no forno quando a velocidade do gás é maior do que o ar, $v = 50 \text{ m/s}$. Nas demais ocasiões a intensidade de radiação se intensificam na parede do forno, não chegando ao centro do forno onde há o reator tubular, acarretando a diminuição da conversão da reação, obtendo-se menos produtos gerados.



$$v = 12, 5 \text{ m/s}$$



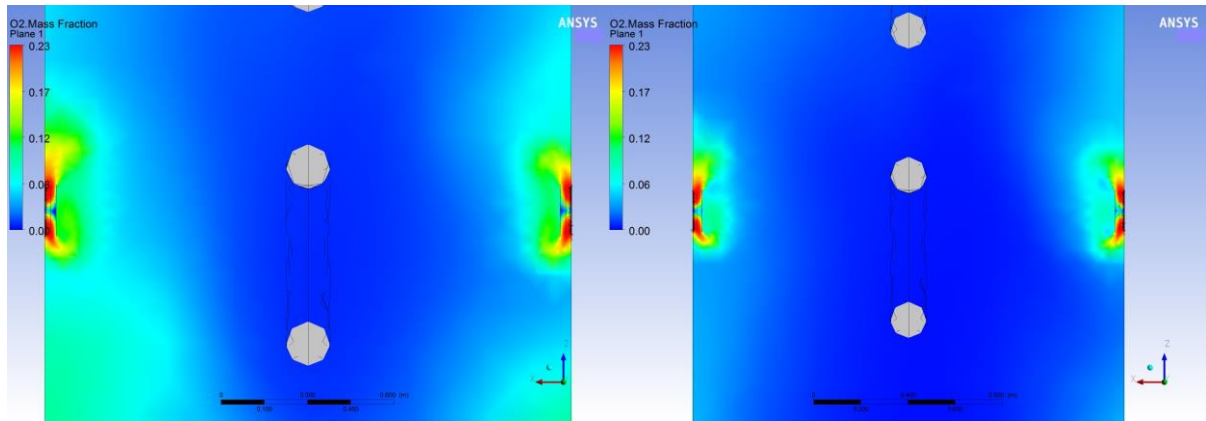
$$v = 25 \text{ m/s}$$



$$v = 50 \text{ m/s}$$

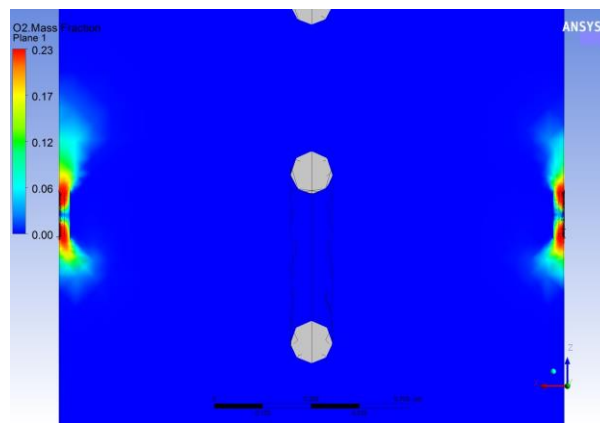
Figura 7 – Composição de metano do forno.

A composição do metano na saída dos queimadores do forno é observada na figura 7. É notável que exista uma composição maior no teste onde $v = 50 \text{ m/s}$, porém a reação de combustão é muito rápida e o metano é logo consumido nos três casos.



$v = 12,5 \text{ m/s}$

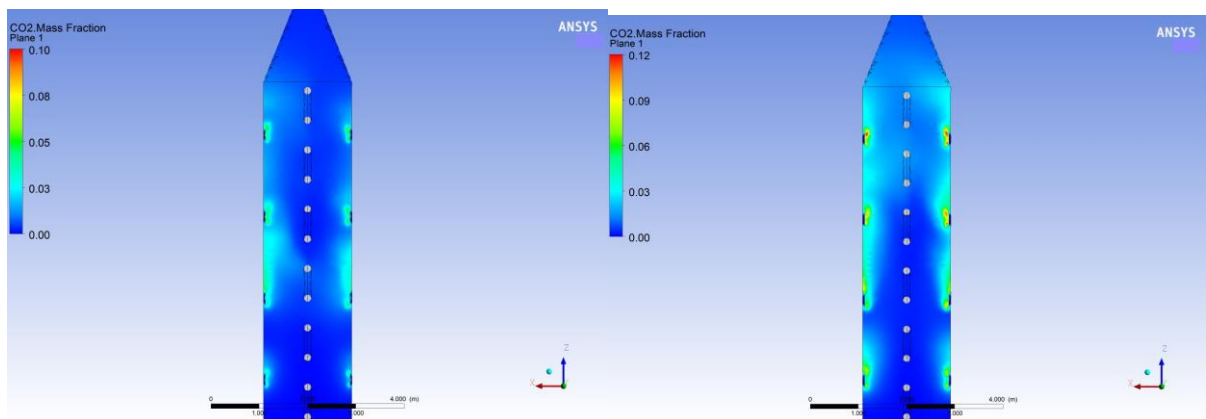
$v = 25 \text{ m/s}$



$v = 50 \text{ m/s}$

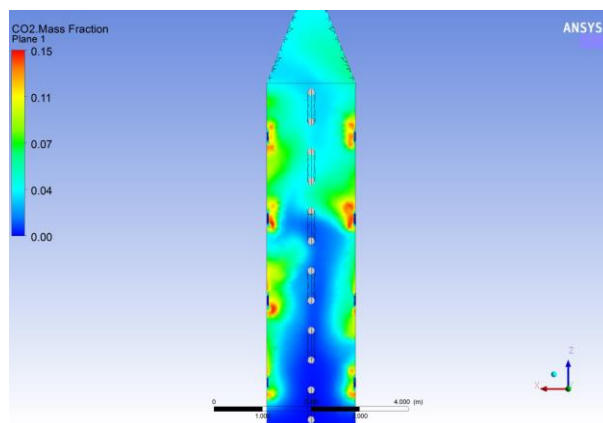
Figura 8 – Composição de oxigênio do forno.

A saída dos queimadores do forno para a composição de oxigênio é observada na figura 8. Nela existe uma composição maior no teste onde $v = 12,5 \text{ m/s}$, por ter uma menor injeção de metano ocorrendo, assim uma predominância maior de gás oxigênio na saída dos queimadores.



$v = 12,5 \text{ m/s}$

$v = 25 \text{ m/s}$



$$v = 50 \text{ m/s}$$

Figura 9 – Composição de CO₂ do forno.

Na análise da saída dos queimadores do forno para a composição de CO₂, observada na figura 9, há uma produção de CO₂ muito maior no teste com $v = 50 \text{ m/s}$. Isso já era esperado pelo motivo de quando existe uma injeção rápida do gás de combustão, consequentemente, há maior quantidade do gás, gerando maior quantidade de produtos produzidos pela reação de combustão que nesse caso é apenas o gás carbônico.

Conclusões

As análises fluidodinâmicas do forno de craqueamento térmico, variando a velocidade do gás de metano de entrada, foram fundamentais para perceber que o sistema é sensível com a variação dessa variável. No teste que aumentou a velocidade, obtive melhores resultados, principalmente relacionado à transferência de calor, temperatura e intensidade de radiação, onde essas propriedades apresentaram maiores intensidades no centro do equipamento, no lugar em que encontrasse o reator tubular, equipamento que deve ser aquecido pelo forno.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CNPq pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP – UFAL) por todo suporte fornecido para a execução deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- ÇENGEL, Y. A., CIMBALA, J. M. *Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações*, AMGH Editora, 1ª Ed., 2012
- HABIBI, A.; MERCI, B.; HEYNDERICKX, G. J. *Impact of radiation in CFD simulations of steam cracking furnaces*. Computers & Chemical Engineering, v 31, p. 1389 – 1406, 2007
- QIAN, J. L. *Tubular Heating Furnace*, China Petrochemical Press, Beijing, 2003.
- RAJAN, G.G. *Optimizing Energy Efficiencies in Industry*, USA: McGraw Hill, p. 12-13, 2002.
- REYNIERS, G.C.; FROMENT, G. F.; KOPINKE, F. D.; ZIMMERMANN, G. *Coke formation in the thermal cracking of hydrocarbons 4. Modeling of Coke Formation in Naphtha Cracking*. Industrial and Engineering Chemistry Research, v.33, p. 2584-2590, 1994.
- WEISZ, P. B.; HAAG, W. O.; RODEWALD, P. G. *Catalytic production of high-grade fuel (gasoline) from biomass compounds by shape-selective catalysis*. Science, 1979.