

Congresso ABRISCO 2017

Avaliação de metodologias para simulação de incêndio em poça através de fluidodinâmica computacional

Rodrigo Peralta Muniz Moreira, Raphael David Aquilino Bacchi, Karolline Ropelato, Ismael Lis Alves
Daoud, Thiago Felipe Ribeiro
ESSS

INTRODUÇÃO

Incêndio em poça é definido como a combustão de um material, geralmente líquido, em uma camada relativamente fina ou no interior de um tanque. A avaliação do risco gerado na combustão acidental em tanques é importante em instalações industriais com armazenagem, transporte ou processo de grandes quantidades de líquidos inflamáveis, para que se tenha uma estimativa dos possíveis danos a pessoas nas imediações de incêndios em poça. Principalmente porque os riscos associados ao vazamento e incêndio de hidrocarbonetos geralmente resultam em altas radiações térmicas, demandando alto controle dos tanques de armazenamento [1]. O conhecimento detalhado destes riscos é, portanto, de grande interesse na prevenção de processos da indústria química.

A análise do risco gerado pela combustão de líquidos em tanques é usualmente avaliada através de equações semi-empíricas [2]. Uma abordagem mais detalhada da combustão e da radiação emitida pela mesma, no entanto, pode ser realizada através de técnicas de fluidodinâmica computacional. O uso de simulações de CFD para avaliação de consequência de acidentes vem se tornando cada vez mais importante na indústria, e a validação destes modelos permite maior confiabilidade dos resultados numéricos para projeto de posicionamento de sensores e rotas de fuga.

O objetivo deste trabalho é avaliar metodologias numéricas de combustão aplicadas a incêndio em poça, visando a validação do modelo para avaliação do potencial de risco de armazenamento de combustíveis. Uma vez validados, os modelos de CFD tem o potencial de avaliar os efeitos de incêndios em locais confinados ou obstruções, os quais gerariam maiores erros quando se utilizam as metodologias semi-empíricas. Neste trabalho avaliaram-se os efeitos térmicos provenientes da radiação emitida através da chama através de simulações de fluidodinâmica computacional (CFD) e os resultados foram confrontados com resultados de referência da literatura.

METODOLOGIA

Um modelo de fluidodinâmica computacional foi aplicado para a simulação da combustão sem pré-mistura de gasolina e combustível de aviação em diferentes diâmetros de tanque (2 m, 8 m e 16 m) e sob diferentes condições de vento. Esta seção visa descrever a metodologia numérica aplicada às simulações realizadas.

Geometria e malha

A Figura 1 (a) apresenta o domínio computacional do presente trabalho. Devido ao comportamento tridimensional do escoamento, principalmente pela existência de uma direção preferencial do vento, a geometria do domínio foi tratada sem nenhuma hipótese de simetria. A escolha da região *farfield* neste estudo foi definida como retangular, conforme pode ser observado na Figura 1 (a) devido à necessidade de um comprimento de domínio suficiente para que o escoamento se torne plenamente desenvolvido (condição ideal da camada limite atmosférica) a montante da poça, além de um maior comprimento necessário a jusante da poça para que o perfil da pluma formada não seja afetado pela definição das condições de contorno.

A malha computacional foi gerada no software ANSYS Meshing® e consistiu apenas de elementos hexaédricos, devido a maior qualidade da malha gerada ao alinhar os elementos à direção do escoamento.

Desta maneira, é possível reduzir o número total de elementos necessários ao mesmo tempo que se reduz erros oriundos da difusividade numérica.

Cada malha computacional gerada teve em torno de 200 mil elementos hexaédricos. Destaca-se que um maior refino da malha foi gerado na proximidade da poça, devido a esta ser a região de maiores gradientes. Detalhes da malha podem ser observados na Figura 1 (b), onde se mostra um plano cortando o domínio geométrico ao centro.

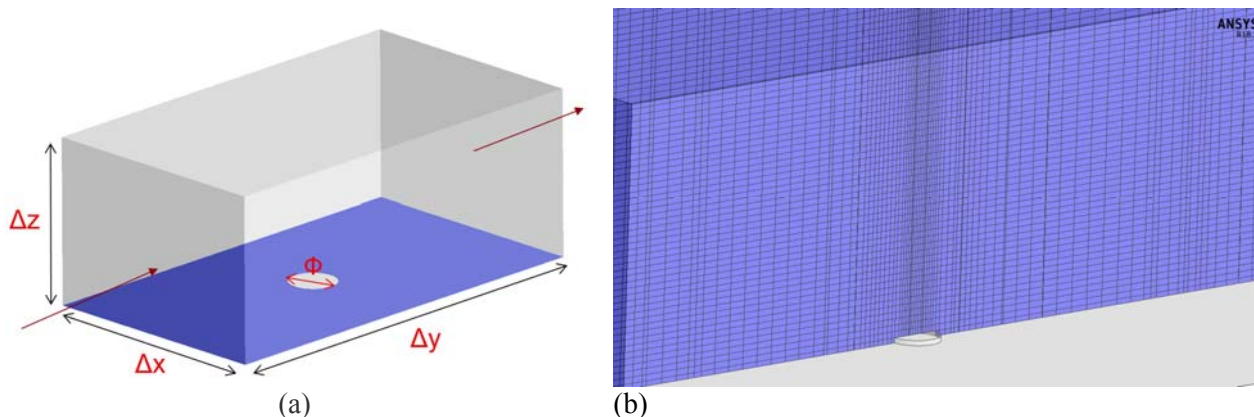


Figura 1 – Geometria (a) e malha computacional utilizada (b).

Modelagem matemática

O software de fluidodinâmica computacional ANSYS Fluent® na versão 18.1 foi utilizado no desenvolvimento do presente trabalho. As seguintes hipóteses foram adotadas no modelo computacional:

- escoamento transiente
- Gás ideal
- Modelo de turbulência *Shear Stress Transport* (SST)
- Modelo de transporte de espécies: combustão sem pré-mistura com hipótese de equilíbrio
- Radiação foi modelada através do modelo *Discrete Ordinates*
- Os gases foram considerados como cinzas e sua absorção e emissão de energia foram avaliadas através do modelo WSGGM (*Weighted Sum of Grey Gases Model*)
- Modelo de formação de fuligem

Para a modelagem da turbulência avaliou-se também o modelo de simulação de grandes escalas (LES), porém optou-se pelo modelo SST à simplicidade do mesmo e o menor custo computacional associado, quando comparado ao modelo LES. Embora da revisão da literatura se observe que a maioria dos trabalhos utiliza modelos de turbulência LES [3,4,5], Vasanth et al (2013) [6] avaliou a combustão em poças de diesel de grandes diâmetros utilizando o modelo k-ε e obteve resultados satisfatórios frente aos resultados experimentais, comprovando a validade de modelos do tipo *Reynolds-Averaged Navier Stokes* (RANS) para este tipo de estudo.

Na modelagem da combustão avaliaram-se os modelos Flamelet e Eddy Dissipation Concept. Novamente, devido à simplicidade do modelo e menor custo computacional, optou-se pelo modelo sem pré-mistura com hipótese de equilíbrio. O modelo Eddy Dissipation, apesar de simples e de menor custo computacional, devido ao fato de prever temperaturas mais altas que os resultados experimentais, acaba prevendo um poder emissivo da chama maior em comparação aos demais modelos. Portanto, este modelo não foi avaliado no presente trabalho. A formação de fuligem foi incluída através do modelo de uma única etapa de Khan and Greeves.

Como condições de contorno, a seguinte configuração foi adotada:

- Entrada de vento: velocidade prescrita
- Saída e topo: condição de pressão relativa prescrita
- Paredes laterais: condição de deslizamento livre
- Solo e parede do tanque: sem deslizamento
- Superfície do tanque: fluxo mássico prescrito, obtido a partir de McGrattan et. al (2000) [7]

As simulações, em regime transiente, tiveram o passo de tempo no valor de 0,002 segundos. Entretanto,

de forma a acelerar o tempo de simulação, cada caso foi inicializado em regime estacionário até que um perfil periódico fosse estabelecido. Devido ao comportamento transiente da pluma formada, contudo, não houve convergência do modelo em estado estacionário.

As simulações foram realizadas em 16 processadores (Intel® Xeon® 2.70GHz) em paralelo. Cada caso levou em torno de 1 dia para completar 10 segundos físicos de simulação.

RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos utilizando o modelo RANS em dois diferentes diâmetros de poça (2 m e 8 m). A Figura 2 mostra o perfil de temperatura no instante de tempo de 10 segundos no caso com combustível de aviação, diâmetro de poça de 2 m (Figura 2 (a)) e 8 m (Figura 2 (b)), e velocidade do vento de 0,7 m/s.

Nota-se um comportamento distinto da chama em ambos os casos. Para o caso com diâmetro de poça de 2 m a chama permanece mais estável ao longo do tempo e atinge maiores temperaturas, enquanto que a chama de 8 m, devido à maiores efeitos da combustão incompleta, apresenta um comportamento transitório periódico e as temperaturas da chama são inferiores em relação à poça de maior diâmetro.

O poder emissivo da chama foi calculado utilizando o procedimento descrito por Vela (2009) [5]. O poder emissivo da poça com 2 m foi de 82,2 kW/m², enquanto que o poder emissivo da poça de 8 m foi de 38,5 kW/m². Destaca-se que estes resultados encontrados estão consistentes com o observado na literatura [5], onde um aumento do diâmetro da poça acarreta numa redução do poder emissivo, devido à menor temperatura da chama resultante de uma queima mais lenta. Além disso, para maiores diâmetros de poça, a formação de fuligem e a queima parcial de hidrocarbonetos gera um bloqueio da região de emissão de radiação da chama [7], o que também contribui para a redução do poder emissivo.

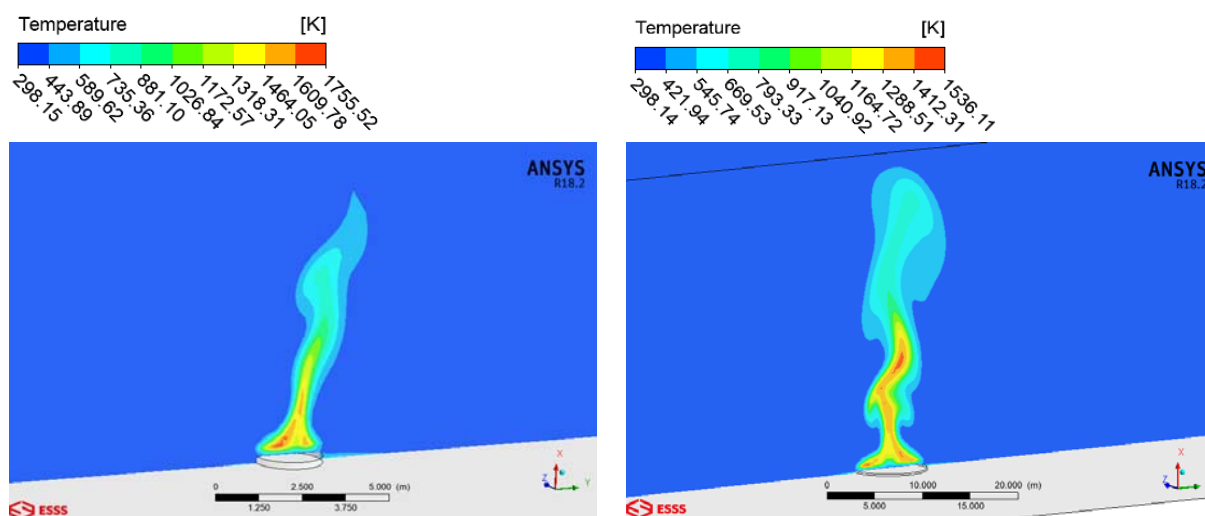


Figura 2 – Perfil de temperatura no instante de tempo de 10 segundos para combustível de aviação e vento de 0,7 m/s: diâmetro de poça de (a) 2 m e (b) 8 m.

CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou diferentes metodologias de simulação de fluidodinâmica computacional aplicada à avaliação de riscos da combustão de combustíveis líquidos em poças de grandes diâmetros. Considerando as principais considerações realizadas e hipóteses do modelo, tem-se que:

- O modelo RANS, apesar de não permitir a análise das principais estruturas turbulentas do escoamento, permitiu uma análise dos perfis de temperatura e radiação médios no tempo comparáveis aos resultados obtidos no modelo de grandes escalas;
- A combustão de diferentes combustíveis, mesmo aplicando modelos de reação de equilíbrio, geram perfis térmicos e fluxos de radiação distintos entre si. Isso se deve aos diferentes valores de fluxo mássico proveniente da queima, os quais foram obtidos a partir de estudos experimentais [7];
- Outras condições de operação incluindo outros combustíveis, velocidades de vento e diâmetro

- de poça precisam ser avaliadas para melhor entendimento dos fenômenos presentes;
- Com o aumento das capacidades de processamento, a ferramenta de fluidodinâmica computacional torna-se cada vez mais importante na análise de risco, devido à riqueza de detalhes obtidos a partir da simulação, as quais seriam difíceis de serem obtidas experimentalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. T.A. Roberts, R. Merrifield, S. Tharmalingam, Thermal radiation hazards from organic peroxides, J. Loss Prev. Process Ind. 3 (1990) 244–252.
2. B. Sun, K. Guo, V. K. Pareek. Dynamic simulation of hazard analysis of radiations from LNG pool fire. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 35 (2015) 200-210.
3. S. Schalike, K. D. Wehrstedt, A. Schonbucher. 2013. CFD simulation to predict the thermal radiation of large LNG pool fires. Proceedings of the European Combustion Meeting 2011, Cardiff, UK, 28 June - 2 July, 2011.
4. A. Attar, M. Pourmahdian, B. Anvaripous. Experimental Study and CFD Simulation of Pool Fires. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 70– No.11, May 2013
5. Vela, Iris. CFD prediction of thermal radiation of large, sooty, hydrocarbon pool fires. Tese de Doutorado em Química pela Universität Duisburg-Essen. Data de defesa: 30 de abril de 2009.
6. Vasanth, S., Tauseef, S., Abbasi, T., Abbasi, S. Assessment of four turbulence models in simulation of large-scale pool fires in the presence of wind using computational fluid dynamics (CFD). J. Loss Prev. Process Ind. 26, 1071e1084. 2013.
7. Kevin B. McGrattan., Howard R. Baum. , Anthony Hamins., 2000. Thermal Radiation from Large Pool Fires, NISTIR 6546.