



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica  
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PARTÍCULAS EM UM REATOR COM LEITO FLUIDIZADO

Guilherme Maciel, [guilherme.maciел@ufu.br](mailto:guilherme.maciел@ufu.br)  
Marcelo Braga dos Santos, [marcelo.bragadossantos@ufu.br](mailto:marcelo.bragadossantos@ufu.br)  
Valério Luiz Borges, [valerioluizborges@ufu.br](mailto:valerioluizborges@ufu.br)  
Solidônio Rodrigues de Carvalho, [solidonio@ufu.br](mailto:solidonio@ufu.br)

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121- Santa Mônica, Uberlândia-MG, 38408-100

**Resumo.** Neste trabalho, estudou-se o comportamento de partículas no interior de um reator termoquímico com vistas ao desenvolvimento de uma grelha que maximizasse o movimento e a homogeneização do leito fluidizado. O reator é utilizado para a termodegradação de biomassa e produção de combustível, gás de síntese, que consiste numa mistura multifásica de gás e partículas suspensas. Estas partículas devem permanecer no interior do reator até que toda matéria passível de gaseificação sofra degradação termoquímica, e aquelas remanescentes sejam filtradas por ciclones que se localizam no interior do reator. Para entender o comportamento das partículas dentro do reator, realizou-se um estudo numérico no software ANSYS® Fluent, considerou-se o modelo multifásico DPM (Discrete Phase Model) e o modelo de turbulência  $k$ - $\omega$  SST. Os resultados obtidos demonstraram um comportamento satisfatório das partículas uma vez que se verificou a ausência de acúmulo de partículas na grelha e nas bordas do dispositivo, comprovando a eficácia dos ciclones filtrantes no interior do reator.

**Palavras chave:** Simulação, Partículas, Discrete Phase Model (DPM), Leito fluidizado.

**Abstract.** In this work, the behavior of particles inside a thermochemical reactor was studied with the aim of developing a grid that maximized the movement and homogenization of the fluidized bed of this reactor. The reactor is used for the thermochemical degradation of biomass and production of fuel, synthesis gas, which consists of a multiphase mixture of gas and suspended particles. These particles must remain inside the reactor until all gasifiable matter undergoes thermochemical degradation, and the remaining particles are filtered by cyclones located inside the reactor. To understand the behavior of the particles inside the reactor, a numerical study was carried out using the ANSYS® Fluent software, considering the DPM (Discrete Phase Model) multiphase model and the  $k$ - $\omega$  SST turbulence model. The results obtained demonstrated a satisfactory behavior of the particles since it was verified the absence of particle accumulation in the grid and at the edges of the device, proving the effectiveness of the filtering cyclones inside the reactor.

**Keywords:** Simulation, Particles, Discrete Phase Model (DPM), Fluidized bed.

### 1. INTRODUÇÃO

O correto descarte de resíduos sólidos urbanos é um grande problema de gestão ambiental em todo mundo, posto que, tais resíduos são constantemente produzidos pela população e, portanto, uma destinação não sustentável geraria rapidamente um impacto ambiental não mensurável. Uma alternativa para solucionar este problema é o reaproveitamento energético através da gaseificação do RSU, que é o processo de conversão do resíduo em vários componentes gasosos à uma alta temperatura, produzindo um gás combustível que pode ser usado para a geração de energia elétrica e térmica.

Na gaseificação o reator termoquímico com leito fluidizado é o principal equipamento utilizado. O reator em geral é composto de uma câmara cheia de partículas de RSU, a alta temperatura e com oxigênio em quantidade sub estequiométrica. Dentro deste reator é utilizada uma grelha, que é responsável por manter tais partículas em suspensão no reator (Angel et al, 2009). O gás gerado é uma mistura multifásica do componente gasoso combustível e partículas de diversos diâmetros. Para garantir um gás limpo a mistura é submetida a processos de filtragem e lavagem.

Para o reator estudado, a filtragem deste gás se dará por ciclones posicionados no interior do reator e associados em série. Sua eficiência em reter as partículas foi estudada previamente e demonstrou sucesso na retenção de partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$  (Maciel, 2023). O resultado é um gás combustível com baixíssimo percentual de partículas sólidas para a geração de energia elétrica através de um ciclo RANKINE.

Neste trabalho realizou-se uma análise qualitativa do comportamento das partículas em um reator termoquímico durante o processo de termodegradação de biomassa e produção de gás combustível que, posteriormente, será usado para a produção de energia térmica e elétrica.

Tal análise foi motivada pela necessidade de entender plenamente o comportamento das partículas no interior do dispositivo, mostrando os pontos de possível acúmulo de partículas, o caminho que as partículas mais leves percorrem até a entrada do primeiro ciclone que realizará a filtragem deste gás e o nível de homogeneização desta mistura bifásica. Esta análise tem sua importância pois quanto maior o tempo de permanência da mistura dentro do reator e maior sua homogeneidade, mais suas cadeias carbônicas são quebradas e melhor a qualidade do gás combustível gerado.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho partiu de um protótipo de reator termoquímico “cúbico” com uma grelha piramidal com 464 furos, sendo 116 em cada superfície. Estes furos foram realizados de forma perpendicular à superfície da grelha, além disso foram posicionados pinos acoplados a estes furos de forma a guiar o fluxo de ar que induz um movimento rotativo do leito fluidizado no interior do reator. Além destes detalhes, foi necessário realizar uma alteração na entrada de ar da grelha. Para que não acontecesse recirculação de ar, foi preciso reduzir o espaço entre a grelha e a geometria responsável por distribuir o ar ao sistema. Dessa forma, foi adicionada uma geometria piramidal no inferior do dispositivo (Figura 1).

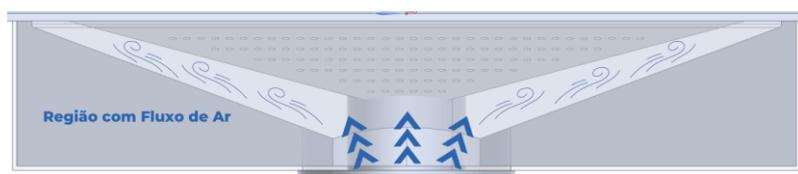


Figura 1. Detalhe da entrada de ar no dispositivo (Próprio autor, 2024)

Com a geometria preparada, ela foi importada para o software Ansys® onde foi gerado um modelo numérico-computacional para o volume interno do reator, sendo que somente o volume do primeiro ciclone foi considerado, para facilitar os cálculos, tendo em vista que a simulação dos ciclones já foi realizada (Maciel, 2023). Então, foi formulado um modelo numérico em elementos finitos para desenvolver a simulação. O modelo de turbulência considerado foi o formulado por Menter (1994)  $k-\omega$ -SST.

Para a simulação das partículas no sistema foi usado o modelo DPM (Discrete Phase Model), também conhecido como método Lagrangiano-Euleriano, que conecta um fluido solucionado pelo espectro Euleriano com partículas discretizadas solucionadas pelo espectro Lagrangiano (Wang, 2022). As partículas foram injetadas ocupando um volume de controle no interior do reator que é representado por um espaço de  $0.9 \text{ m}^3$ , onde são colocados 5 kg de partículas com densidade de  $500 \text{ kg/m}^3$ . As partículas apresentaram uma distribuição granulométrica que segue o modelo de Rosin-Rammler com 10 diâmetros variando entre 25  $\mu\text{m}$  e 0.18  $\mu\text{m}$ , com um diâmetro médio de 8  $\mu\text{m}$ , totalizando 879823 partículas.

Além disso, a simulação foi realizada considerando uma temperatura do sistema de  $450^\circ\text{C}$  (sistema previamente aquecido), com uma vazão de entrada de ar de  $800 \text{ kg/h}$ .

## 3. RESULTADOS

A primeira análise a ser realizada é a do fluxo de ar no interior do reator. Era necessário verificar se os bicos posicionados na grelha realmente induziram o fluxo a circular no dispositivo. A Figura 2 mostra que as linhas de fluxo seguiram um padrão esperado, criando vórtices que provocam a rotação do leito fluidizado. Já na Figura 3, é possível notar que a recirculação no interior da grelha está minimizada, o que pode ser observado pela baixa quantidade de vórtices nas linhas de fluxo.

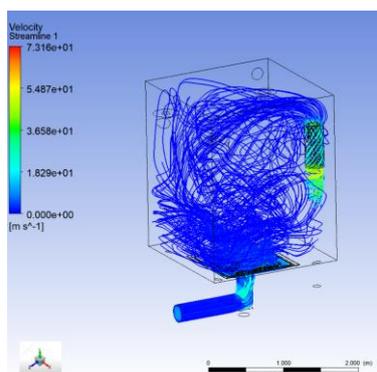


Figura 2. Linhas de fluxo coloridas pela velocidade do ar no reator em vista isométrica. (Próprio Autor, 2024)

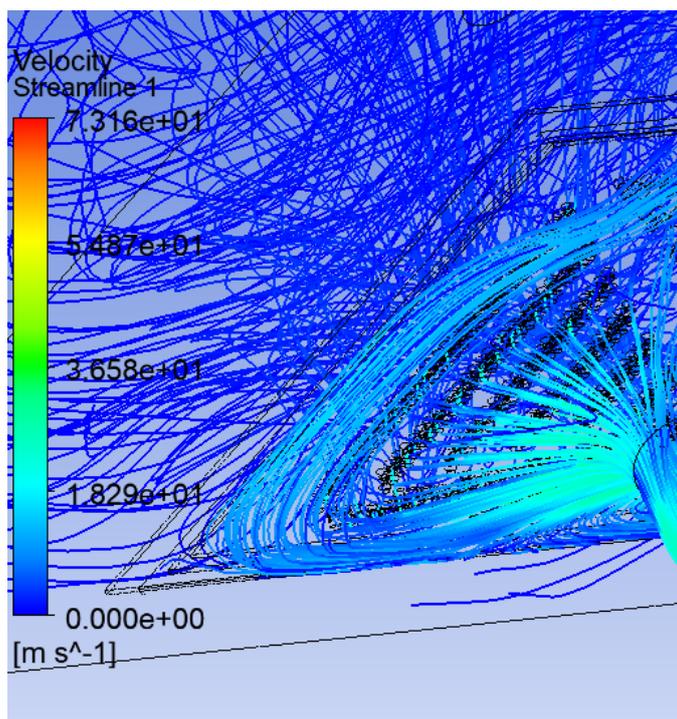


Figura 3. Linhas de fluxo coloridas pela velocidade na entrada da grelha. (Próprio Autor, 2024)

A simulação representou o resultado de 15 segundos físicos do movimento das partículas. Na Figura 4, é possível observar, na região superior do reator, o fluxo de partículas que segue na direção do primeiro ciclone na marca de 2 segundos. Ao se comparar com o tempo de 10 segundos, este fluxo se intensifica e o movimento do leito fluidizado pode também ser observado. O auxílio da animação é fundamental para uma melhor avaliação do resultado.

Na Figura 5, é perceptível que apenas as partículas menores são elevadas pelo ar que é injetado na região inferior do reator, uma vez que elas apresentam menor massa.

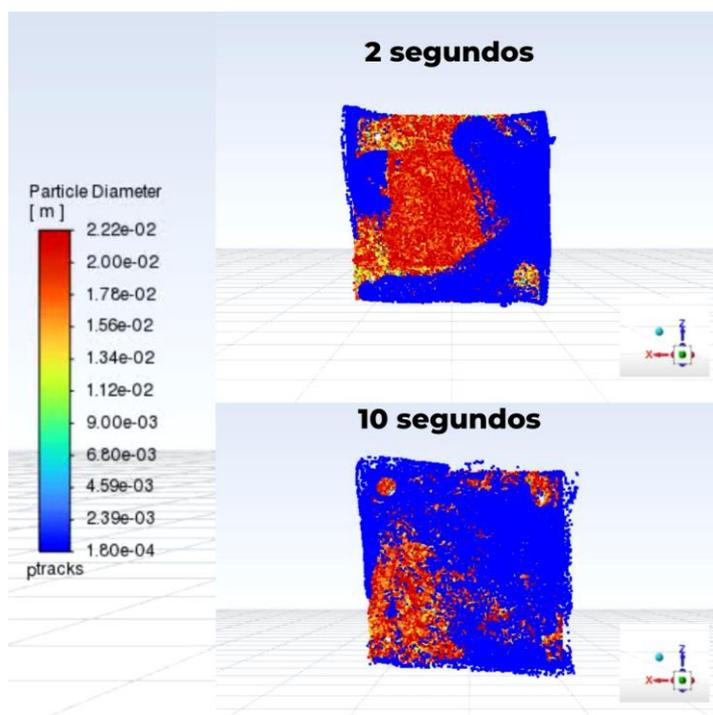


Figura 4. Vista superior do movimento das partículas nos tempos de 2 e 10 segundos. (Próprio Autor, 2024)

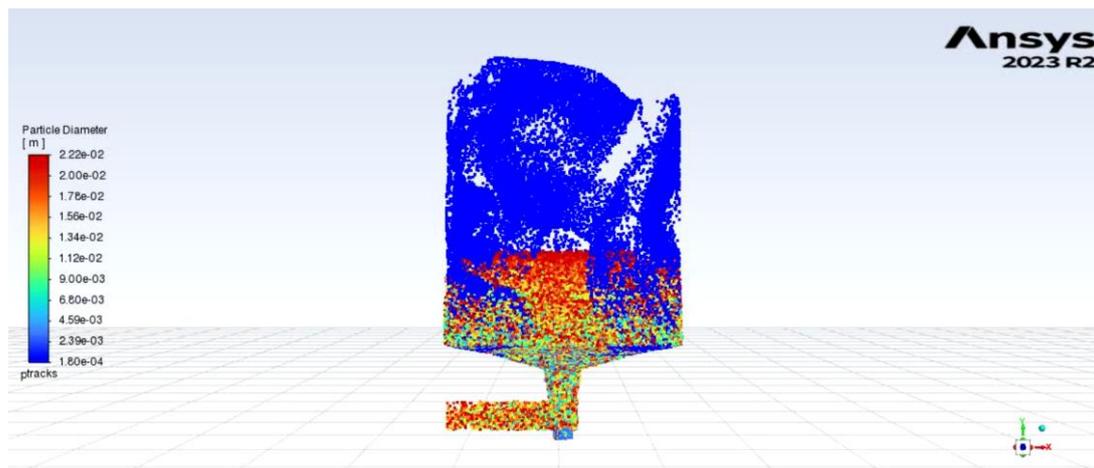


Figura 5. Vista lateral do movimento das partículas no tempo de 4 segundos. (Próprio Autor, 2024)

#### 4. CONCLUSÃO

Com os resultados da simulação obtidos, foi possível entender o comportamento das partículas no interior do reator. Analisando o fluxo identificado nas Figuras 2 e 3 e comparando o movimento das partículas na animação, que estão representados nas Figuras 4 e 5, percebe-se que as partículas se deslocaram de acordo com a corrente de ar que passou por elas, assim como esperado.

Além disso, a geometria da grelha possibilitou um movimento circular do leito fluidizado, conforme previsões, que impedirá acúmulos de partículas nas superfícies inferiores do interior do reator, além de gerar uma melhor mistura dos resíduos que serão depositados nele para a decomposição. Ademais, a distribuição das partículas que foram levadas até o ciclone cumpriu o esperado, considerando que o diâmetro das partículas que seguiram este padrão é de até 3 mm.

Essa constatação comprova que a parcela de mistura que entra no primeiro ciclone será mais homogênea que o restante que continua no reator, ademais esse gás impuro será ainda filtrado pelos ciclones até que o gás que for extraído do dispositivo esteja o mais homogêneo possível, conforme é demonstrado em trabalhos anteriores (Maciel, 2023), onde foi avaliado partículas de 150 a 50  $\mu\text{m}$  e se constatou que a maioria das partículas serão retidas pelo ciclone axial (primeiro ciclone), enquanto apenas partículas de aproximadamente 50  $\mu\text{m}$  alcançaram o terceiro ciclone e nenhuma chegou ao último.

De modo geral, esta análise qualitativa permitiu garantir, por meio de simulações numéricas, que o reator com ciclones em série proporciona a geração de um gás com baixíssimo teor de material particulado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) e à empresa CALMECON pelo auxílio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Angel, J.D.M., Vásquez, T.G.P., Junkes, J.A. e Hotza, D., 2009. "Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado". *Química Nova*, Vol. 32, n° 5.
- Maciel, G., Silva, M., Ferreira, C., dos Santos, M.B., Borges, V.L., Carvalho, S.R., 2023. "Análise fluidodinâmica tridimensional de ciclones e associações de ciclones". In *Anais do XXIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – CREEM2023*. Goiânia, Brazil.
- Menter, F.R., 1994. "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications". *AIAA Journal*, Vol. 32, p. 1598-1605.
- Wang, T., Zhang, F., Furtney, J. e Damjanac, B., 2022. "A review of methods, applications and limitations for incorporating fluid flow in the discrete element method". In *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Vol. 14, p. 1005-1024.

#### 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.