

Reator tubular - PLUG FLOW Reactor

Gabriela Campos Vieira Nunes^{1}, Inácio Zapparoli Bardini¹, Matheus Henrique Resende¹, Rafael Bianchini Germano¹*

¹*Centro Universitário Sagrado Coração – Unisagrado, Bauru/SP.*

**Autor para correspondência, E-mail: gcampos2606@gmail.com (autor principal)*

RESUMO

O artigo em questão tem o objetivo de verificar, por meio de uma revisão bibliográfica, a importância dos reatores químicos, especialmente os reatores de fluxo em pistão (PFR) com foco na otimização de operações e redução de custos industriais. Existem situações a serem asseguradas como a segurança e o fator da sustentabilidade, trazendo assim melhorias significativas haja vista a eficiência e desempenho na indústria. Perante o exposto, foi constatado que o reator tubular é ideal para reações de larga escala por possibilitar uma distribuição uniforme do tempo de residência dos reagentes e à capacidade de controlar a temperatura, tornando-o útil para diversas aplicações evidenciadas que corroboraram com as evidências teóricas expostas, tendo um olhar também para o aprimoramento desses reatores a fim de melhorar os resultados obtidos nos diversos processos industriais.

Palavras-chave: Reatores de fluxo em pistão (PFR), Otimização de operações e Eficiência.

ABSTRACT

The article in question aims to verify, through a literature review, the importance of chemical reactors, especially piston flow reactors (PFR) with a focus on optimizing operations and reducing industrial costs. There are situations to be ensured such as safety and the sustainability factor, thus bringing significant improvements in view of efficiency and performance in industry. In view of the above, it was found that the tubular reactor is ideal for large-scale reactions because it enables uniform distribution of the residence time of the reactants and the ability to control the temperature, making it useful for various applications that corroborated the theoretical evidence exposed, with a view also to improving these reactors in order to improve the results obtained in the various industrial processes.

Keywords: *Piston flow reactors (PFR), Optimization of operations and Efficiency.*

1. INTRODUÇÃO

Visando atingir altos padrões de qualidade tanto em processos quanto em produtos, a engenharia tem estado em constante evolução no tocante aos projetos de melhoria contínua, em busca sempre da otimização de operações unitárias e conseqüentemente da redução de gastos nas indústrias. De tal modo, torna-se essencial o aprimoramento do desempenho de equipamentos (CARVALHO, 2018).

Destarte, equipamentos importantes em diversas plantas industriais são os reatores químicos, que segundo Floger (2021) representam estruturas essenciais para a realização de reações em larga escala, visando transformar matérias-primas em produtos prontos para o mercado. Esses dispositivos estão disponíveis em uma ampla gama de configurações e dimensões. Entre as variedades mais comuns de reatores ideais estão os de batelada e os tubulares, também conhecidos como Reatores de Fluxo em Pistão (PFR – do inglês, Plug Flow Reactors). Estes que são o foco do presente artigo científico.

Por conseguinte, o reator tubular é assim nomeado devido à sua configuração física, na qual os reagentes são consumidos continuamente à medida que avançam ao longo de seu comprimento, ou seja, movendo-se como um pistão paralelo ao eixo da tubulação (HILL; ROOT, 2014). Conforme Levenspiel (1999), este tipo de reator caracteriza-se por um escoamento ordenado dos elementos. Neste, não ocorre difusão ao longo do percurso e a velocidade entre dois elementos do fluido não difere. Como condição para o reator tubular, o tempo de permanência para qualquer elemento do fluido é constante.

Ademais, tais equipamentos são caracterizados por uma distribuição ideal do tempo de residência dos reagentes ao longo do reator, resultando em uma conversão química mais uniforme e eficiente. Esta característica os torna adequados às reações altamente exotérmicas ou

endotérmicas, em que a dissipação ou a absorção de calor ao longo do reator é fundamental para o controle preciso da temperatura e a prevenção de fenômenos não desejáveis, como o superaquecimento ou a formação inadequada de subprodutos (LEVENSPIEL, 1999).

Em síntese, o trabalho objetiva explorar os princípios de funcionamento do reator de fluxo pistonado, examinar sua aplicabilidade em reações químicas e destacar as estratégias para melhorar sua eficiência e desempenho, além de elucidar recentes pesquisas e desenvolvimentos, identificar áreas de oportunidade para futuros estudos e inovações que visem aprimorar a versatilidade dos reatores tubulares na indústria química, que abrange setores como o petroquímico, farmacêutico, alimentício, entre outros. No entanto, apesar de sua ampla aplicação, ainda existem desafios significativos a serem superados em termos de segurança e sustentabilidade dos processos industriais.

2. METODOLOGIA

Neste estudo, a metodologia empregada consistiu na revisão sistemática da literatura científica sobre reatores tubulares, abrangendo aspectos relacionados ao mecanismo de funcionamento e aplicabilidades. Foram utilizadas bases de dados acadêmicas e técnicas, bem como periódicos científicos relevantes, para identificar artigos, livros e outros recursos que fornecessem informações pertinentes ao tema. Após a coleta e seleção dos materiais, procedeu-se à análise crítica e síntese dos dados.

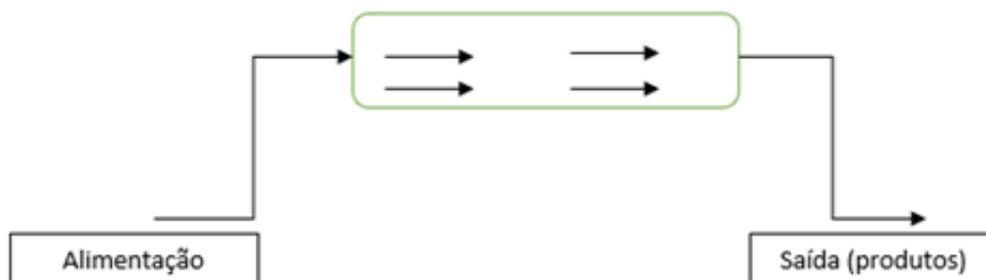
As palavras-chaves utilizadas para pesquisas principalmente na plataforma Google Acadêmico e sites confiáveis foram as seguintes: “Reatores Tubulares”, “Reatores PFR”, “Principais Reatores nas Indústrias”, “Mecanismos de Funcionamento de Reatores de Fluxo em Pistão”, “Aplicações Reatores de Fluxo em Pistão”, “Eficiência e Desempenho de Reatores de Fluxo Pistonado” “Otimização de Operações Unitárias”, “Segurança e Sustentabilidade de Processos Industriais”, “Pesquisas e Inovações de Reatores Tubulares” e “Versatilidade Reatores PFR”.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 APLICAÇÕES

Nessa seção serão abordadas aplicações e utilizações em escalas industriais. Antes de iniciar, é interessante ter uma visualização da estrutura básica de um Reator de Fluxo em Pistão (PFR), tendo a ideia de que para cada aplicação específica há variações quanto às particularidades referentes às estruturas, conforme será visto nos parágrafos subsequentes. Sendo assim, a Figura 1 evidenciada abaixo ilustra de maneira simplificada o modelo PFR.

Figura 1 - Modelo PFR simplificado



Fonte Elaborado pelos autores

Primeiramente, Rosas-Vargas e Ramón-Valencia (2020) utilizaram e adaptaram o modelo de reator PFR em escala reduzida (laboratorial) para tratar um substrato advindo de um aterro sanitário a fim de se analisar dois pontos: o tempo de retenção celular (TRC) bem como compreender o fenômeno cinético, por meio da constante de velocidade “k” de biodegradação e um outro coeficiente de substrato (Y). Ao final do estudo os autores concluíram que esse tipo de reator se configura como eficiente nesse processo de tratamento, além de observar o comportamento de primeira ordem do lodo ativado no reator PFR.

Devido à capacidade de operar com grande volume, em grandes escalas e por tempos maiores, Nohara et al. (2023) investigaram como um PFR processa continuamente o chorume oriundo de aterros sanitários. Para tal estudo, foi necessário compreender a reação de fotocatalise ligado ao reator conectado a um tanque para homogeneizar o substrato, com objetivo de degradar os ácidos húmicos e fúlvicos através dos fotocatalisadores ZnO-TiO₂. Também, foram analisados parâmetros como pH, velocidade da reação e concentração dos catalisadores.

Patinvoh et al. (2017) também retratou um substrato composto de esterco bovino e palha para realização de fermentação seca com o intuito de analisar processos contínuos de digestão seca para geração de biogás empregado na conversão de energia elétrica, contudo é apontado pelos autores a necessidade constante de aprimoramento do processo. Para isso, de acordo com a Figura 1 evidenciada abaixo foi utilizado o modelo PFR para tal aplicação, tendo em vista sua alta eficiência energética. Dito isso, a um determinado de tempo de reação e taxa orgânica, o reator mencionado se mostrou eficiente para o processo citado.

Como outra abordagem feita com relação à produção de biogás, Rossi et al. (2022) tratam da digestão anaeróbica de resíduos sólidos advindos das cidades. Foram ponderados aspectos como tempo de retenção hidráulica no reator de fluxo pistonado, a partir de um olhar voltado ao metabolismo bacteriano como via de impacto da eficiência do reator citado na degradação do substrato, além de desenvolver estratégias também com base no comportamento das bactérias para aprimorar o desempenho do PFR.

Em um tratamento voltado à utilização de substâncias renováveis como combustíveis, Jonathan et al. (2022) realizaram uma modelagem matemática e dimensionamento de dois reatores, sendo eles o PFR (foco do presente artigo) e também o reator de leito fixo (PBR). O objetivo consistiu em avaliar a conversão de hidrocarbonetos a partir de metanol através da cinética da reação e balanceamento de massa. Por fim, o estudo se demonstrou como fundamental para auxiliar na redução de poluentes e de saúde humana, visto que é mencionada a problemática das zonas de extração de petróleo por se tratar de um recorte mais voltado à República Democrática do Congo.

4. DISCUSSÕES E ANÁLISES

Diante do exposto nas aplicações dos PFRs, é válido discutir e analisar o que foi obtido a partir das pesquisas realizadas. Em um primeiro momento, foram descritos utilizações desse tipo de equipamento para degradação de substratos provenientes de aterros sanitários, fato esse que evidenciou a importância do reator em situações voltadas à gestão ambiental tendo em vista as problemáticas com resíduos sólidos urbanos.

Em um segundo momento, foram percorridas duas aplicações do PFR destinadas à geração de biogás. Contudo, em uma delas o enfoque foi maior novamente sobre resíduos urbanos, sendo uma forma de tratar uma problemática ambiental e liberar um produto eficiente em termos energéticos. Já a outra abordagem se deu através de fermentação seca de substrato proveniente de excrementos de animais, voltado à questão do biogás.

Como última investigação, também houve a presença da questão ambiental, mas agora voltado à modelagem e simulação matemática relacionadas à conversão de metanol em hidrocarbonetos a fim de se gerar menores poluentes com teores sociais ligados e pensados de acordo com a problemática do país da República Democrática do Congo.

Por fim, foram incluídos estudos de autores com vários objetivos e características próprias quanto às aplicações, fato esse que corroborou com as propostas do presente artigo, bem como justificou a abordagem do Reator De Fluxo Pistonado.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou análises a respeito da utilização de reatores de fluxo em pistão (PFRs) em diversas aplicações industriais e contextos de utilização, em especial focando em reações químicas em larga escala, fato diretamente relacionado a sua construção característica, permitindo que as reações ocorram ao longo de sua extensão de maneira contínua.

No entanto, não é garantido que as reações existentes em seu interior sejam de fato uniformes, isso por conta da possibilidade troca de calor decorrente de sua configuração de construção, uma vez que os PFRs consistem em tubulações finas e extensas, tornando a superfície de contato do equipamento elevada, podendo diminuir a velocidade de reações que dependam de calor para ocorrer em taxas ideais.

Portanto, é possível aumentar a eficiência e otimizar o desempenho de processos realizados através desse tipo de reator ao conhecer a reação química ocorrendo em seu interior, de maneira a proporcionar condições ideais para sua ocorrência, pois é possível se aproveitar de sua construção para fornecer energia às reações, justamente por conta dessa característica de troca de calor.

Em suma, este estudo contribui para a compreensão, aplicações e desafios da utilização dos reatores de fluxo em pistão. Tendo em vista o apresentado, é possível realizar aprimoramentos seu desempenho, mesmo que individuais de cada processo, de maneira a promover avanços em produções de larga escala, proporcionando operações mais eficientes e sustentáveis nas indústrias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, Ary Augusto Leite da Silva de. Uso de fluidodinâmica computacional para a análise do tempo de residência em reatores tubulares utilizando líquido como fluido de trabalho. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FOGLER, H. S. Elementos de engenharias das reações químicas. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HILL, Charles G.; ROOT, Thatcher W. Introduction to chemical engineering kinetics and reactor design. John Wiley & Sons, 2014.

JONATHAN, Ndjibu N. *et al.* Modeling and simulation of reactors in plug flow reactor (PFR) and Packed Bed Reactor (PBR) series for the conversion of methanol into hydrocarbons. *African Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, n. 8, p. 286-294, 2022.

LEVENSPIEL, Octave. Chemical reaction engineering. John Wiley & Sons, 1999.

NOHARA, Nicoló Milhardo Lourenço *et al.* Study of the effectiveness of a ZnO-TiO₂ formulation in the degradation of humic substances in mature leachate by solar photocatalysis Brazil. *Revista Ambiente & Água*, v. 18, p. e2932, 2023.

PATINVOH, Regina J. *et al.* Dry fermentation of manure with straw in continuous plug flow reactor: Reactor development and process stability at different loading rates. *Bioresource technology*, v. 224, p. 197-205, 2017.

ROSAS-VARGAS, Jenny A.; RAMÓN-VALENCIA, Jacipt A. Biodegradabilidad de lixiviados procedentes de un relleno sanitario utilizando un sistema de lodos activados flujo pistón. *Orinoquia*, v. 24, n. 2, p. 99-109, 2020.

ROSSI, Elena *et al.* Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste in plug-flow reactors: focus on bacterial community metabolic pathways. *Water*, v. 14, n. 2, p. 195, 2022.