

LEITOS FLUIDIZADOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE CALCIUM LOOPING

Renan Camargo Oliveira ¹
Dra^a Gretta Larisa Aurora Arce Ferrufino ²
Prof^a. Dr^a. Ivonete Ávila ³

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o que é o processo de Calcium Looping, quais reações químicas estão presentes, em quais temperaturas ocorrem, quais são os produtos de cada reação, como funciona o ciclo regenerativo do processo e a sua importância nas indústrias emissoras de carbono. Também mostra informações sobre a operação de contato (fluidização) que ocorre dentro dos reatores. Quais destes regimes fluidodinâmicos são os mais utilizados nos reatores para o processo de captura de carbono em questão, de acordo com diversos pesquisadores, e apresenta as variáveis que influenciam no comportamento destes regimes. Os resultados mostram que os leitos fluidizados mais utilizados no processo de CaL são os leitos fluidizados borbulhantes (calcinadores) e leitos fluidizados circulantes (carbonatadores). Porém, alguns artigos mais recentes mostram que dois leitos fluidizados circulantes (tanto para o reator de carbonatação quanto para o de calcinação) estão sendo utilizados em estudos.

Palavras-chave: leito fluidizado, leito fluidizado circulante, Calcium Looping, captura de carbono.

INTRODUÇÃO

A comunidade científica acredita que o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico vem causando um aquecimento a nível global através do efeito estufa. Setores como as indústrias, geração de energia elétrica e transporte são potenciais fontes de emissão de gases de efeito estufa, entre eles o CO₂. Portanto, se faz necessário investir em tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) que minimizem a eliminação deste gás à atmosfera.

Uma cadeia CCS básica envolve três etapas: capturar ou separar um fluxo de CO₂ emitido durante a combustão ou processos químicos industriais; transportar ou capturar o fluxo de CO₂ após a compressão, geralmente por meio de dutos e armazená-lo permanentemente em uma formação geológica adequada. (VERSTEEG, RUBIN, 2012).

¹ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista - Campus de Guaratinguetá - SP, renan.c.oliveira@unesp.br;

² Pós-doutor: Laboratório de combustão e captura de carbono (LC₃), gretta.arce@unesp.br;

³ Orientador: Prof. Dra, Laboratório de combustão e Captura de carbono (LC₃), iavila@unesp.br.

Entre as três principais abordagens para captura de carbono em usinas de energia, ou seja, captura pós-combustão, captura pré-combustão e captura oxicomustível, a primeira é vista como a mais fácil de implementar em usinas existentes, pois poderia ser aplicada como um fim processo de tubulação para plantas atuais ou em plantas planejadas para captura, sem mudanças radicais na configuração original da planta. (MERSCHMANN, VASQUEZ, et al., 2013, ROCHEDO, 2011, WANG, LAWAL, et al., 2011b).

Dentre todas as tecnologias de captura, sequestro e utilização de carbono, o Calcium looping (CaL) é a tecnologia de pós combustão mais emergente para a captura de CO₂ derivadas das usinas que utilizam combustíveis fósseis como fonte energia. O processo CaL explora a reação reversível entre CO₂ e óxido de cálcio (CaO) para formar carbonato de cálcio (CaCO₃) (Eq. 1). Por meio de reações cíclicas de carbonatação e calcinação de um sorvente contendo cálcio (CaO), o CO₂ pode ser separado do gás de exaustão e posteriormente o CO₂ capturado pode ser reutilizado ou disposto de maneira segura em jazidas de petróleo ou gás natural.



Em um primeiro momento, o CO₂, proveniente dos gases exaustão, reage com CaO exotermicamente em temperaturas entre 600°C a 700°C no carbonatador (CaO + CO₂ CaCO₃). O CaCO₃ formado é então transferido para um segundo reator, o calcinador, para ser calcinado em temperaturas acima de 900°C, liberando CO₂ e fornecendo CaO regenerado para absorver, repetidamente, o CO₂. (HORNBERGER; SPÖRL; SCHEFFKNECHT, 2020)

De acordo com Erans (2016), a Calcium looping é normalmente realizada em leitos fluidizados em diversos arranjos. Os leitos fluidizados possuem diferentes regimes de fluidização que variam de acordo com os tipos de sólidos e fluidos utilizados, bem como a velocidade superficial e a perda de pressão do fluido no leito.

METODOLOGIA

Se procurou na base de dados da *sciencedirect*, *scopus* e google acadêmico, os trabalhos referentes a calcium-looping e leitos fluidizados, nos últimos anos. Para isto foram escolhidas como palavras chave: “*calcium looping*” e “*fluidized bed*” e depois a pesquisa foi refinada, preferencialmente, para os artigos publicados nos últimos 5 anos.

REFERENCIAL TEÓRICO

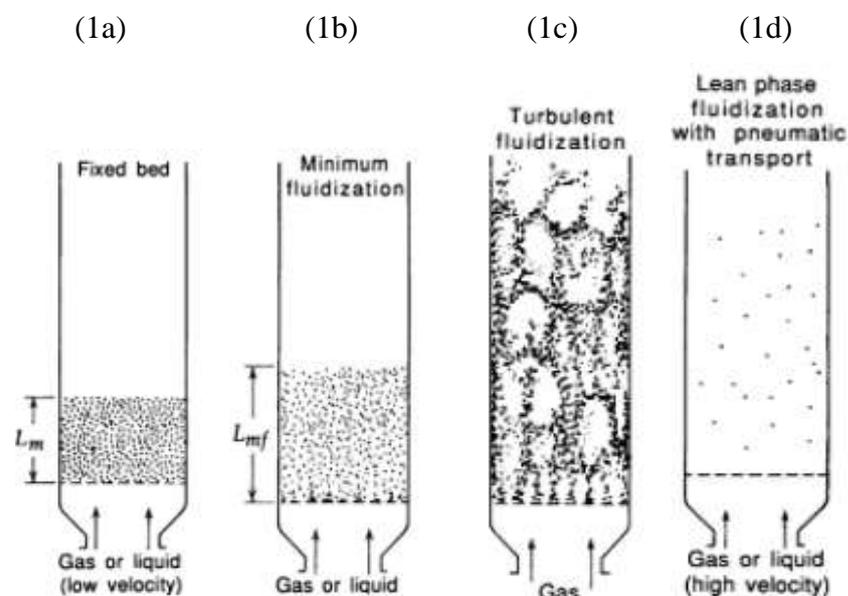
A fluidização é uma operação de contato entre as partículas sólidas (leito do reator) e o fluxo de ar ascendente, ocasionando a completa mistura entre as fases. Este fator proporciona altas taxas de transferência de calor e massa. (KUNII; LEVENSPIEL,1991)

De acordo com Kunii e Levenspiel (1991), ao passar por um leito com partículas sólidas a baixa velocidade, o fluido passa pelos interstícios dessas partículas. Este comportamento de leito é denominado como regime de leito fixo e é ilustrado na Figura (1a).

Quando a velocidade do fluido (gás ou líquido) é aumentada, as partículas sólidas ficam suspensas pelo fluxo ascendente e a queda de pressão por área no leito torna-se igual ao peso das partículas. Este regime é denominado de mínima fluidização e é ilustrado na Figura (1b). (KUNII; LEVENSPIEL,1991)

Para maiores vazões do fluido, maiores agitações são presentes causando um acentuado aumento na movimentação dos sólidos, caracterizando o regime turbulento de fluidização. Este regime é ilustrado na Figura (1c). (KUNII; LEVENSPIEL,1991)

Ao aumentar a velocidade do fluido no reator, surge o fenômeno de elutriação (pulverização), transportando as partículas sólidas. Este processo caracteriza o regime de fluidização pneumática. (KUNII; LEVENSPIEL,1991)



Fonte: Adaptado de Kunii e Levenspiel (1991)

A fluidização possui vantagens e desvantagens. Segundo Kuuni e Levenspiel (1991) algumas das vantagens são: a rápida mistura dos sólidos; a possibilidade de remoção ou adição de calor devido à circulação de sólidos entre dois leitos fluidizados; a adequabilidade do processo para largas escalas industriais; e a possibilidade de atingir altas taxas de transferência de calor e de massa entre as partículas sólidas e o gás, taxas estas muito maiores do que as de outros processos que envolvem contato.

Kunii e Levenspiel (1991) também citam algumas desvantagens da fluidização, sendo elas: a substituição de sólidos quebradiços que pulverizam ao entrarem em contato com o gás e o processo de erosão que ocorre nas tubulações decorrentes da abrasão das partículas sólidas.

De acordo com Basu (2006), o leito fluidizado circulante (LFC) define-se pela alta velocidade de contato entre o gás e os sólidos suspensos cujas partículas são pulverizadas por este gás acima da sua velocidade de transporte para, em seguida, serem recuperadas na base.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Erans (2016) diz que diferentes reatores trabalham em cada um dos regimes, que possuem suas próprias particularidades. Os leitos fluidizados mais utilizados no Calcium looping são os leitos borbulhantes (calcinação) e os leitos fluidizados circulantes (carbonatação). Nos leitos borbulhantes, o gás apresenta velocidades menores do que nos leitos fluidizados turbulentos e maiores do que nos regimes de mínima fluidização. Há sistemas, como os leitos fluidizados circulantes, em que as partículas do leito são excitadas por gases em altas velocidades, comportando-se de forma altamente turbulenta. Estas partículas são então arrastadas, ascendendo para a parte superior do reator e saem em direção a um separador, o ciclone. Feita a separação das partículas e do fluido, as partículas descem por um tubo e retornam para a base do reator. Os leitos fluidizados circulantes (Fig. 2) são compostos basicamente de um reator ascendente (riser), um dispositivo de separação de sólidos (ciclone) e um tubo de descida das partículas (down comer) e uma válvula de reinjeção (válvula LoopSeal).

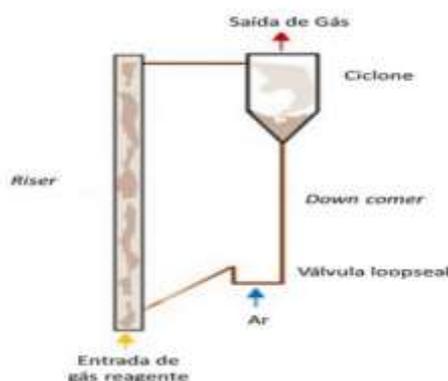


Figura 2. Sistema de Leito Fluidizado Circulante (BANDARA et al. 2020)

Apesar da configuração mais utilizada para o processo de calcium looping ser composta por leitos fluidizado borbulhantes (calcinação) e leitos fluidizados circulantes (carbonatação), alguns autores têm pesquisado maneiras diferentes de realizar este processo.

Hornberger (2016) realizou experimentos com reatores piloto em escala de teste em indústrias de cimento, mostrado na Figura 3. A planta piloto consistiu em dois leitos fluidizados circulantes, tanto para o carbonatador quanto para o calcinador com cada reator possuindo 10 metros de altura e 20 centímetros de diâmetro. Os efeitos de sinergia entre a captura de CO₂ do calcium looping e a produção de cimento combinada com a alta taxa de captura de CO₂, acima de 95%, supõe uma alta adequação do circuito de cálcio para a captura de CO₂ na indústria de cimento.

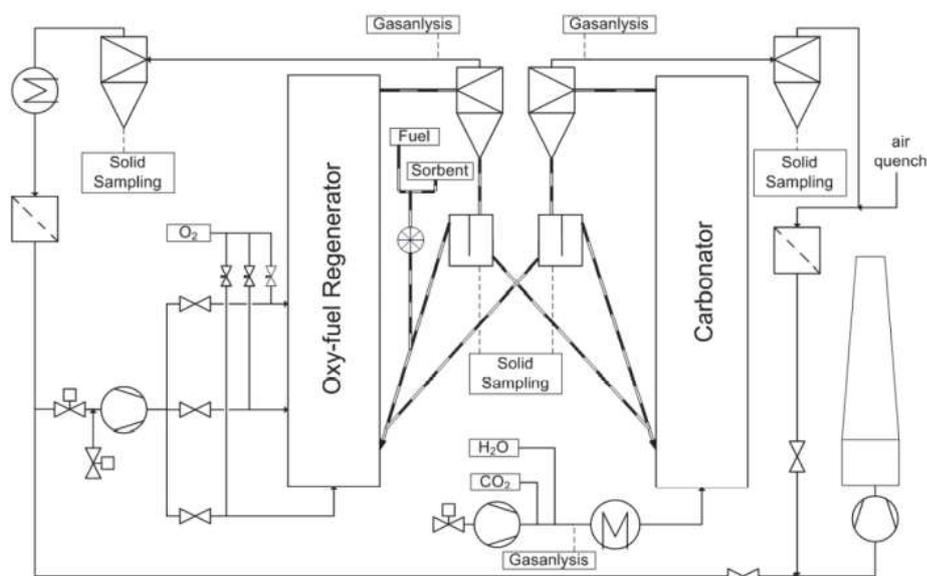


Figura 3: Esquema da planta piloto de LFC-LFC na Universidade de Stuttgart.

O trabalho de Spinelli et al. (2017), também é relacionado à utilização do processo CaL em indústrias cimenteiras. Este trabalho objetiva investigar duas opções de integração de processos do sistema CaL baseados em leitos fluidizados e reatores de fluxo de arrasto em um processo de queima de clínquer. As principais vantagens, restrições e questionamentos das duas configurações são discutidas, e os balanços de massa e energia de todos os processos são detalhados e analisados. Seus reatores também são compostos por dois leitos fluidizados circulantes (calcinador e carbonatador) e são ilustrados na Figura 4. Segundo Spinelli, a escolha do regime fluidodinâmico depende, principalmente, do tamanho das partículas de calcário utilizadas no processo do calcium looping, da velocidade do gás e das razões de fluxo gás/sólidos. Os leitos fluidizados circulantes são mais adequados para operar com partículas de diâmetros entre 100 e 250 μ m. O tamanho de partículas de CaO relativamente grandes pode impor uma etapa de moagem adicional junto com os outros constituintes da matéria-prima. Isso permitirá a obtenção de um tamanho adequado das partículas e uma homogeneização adequada dos constituintes, de modo a não alterar a qualidade do clínquer final.

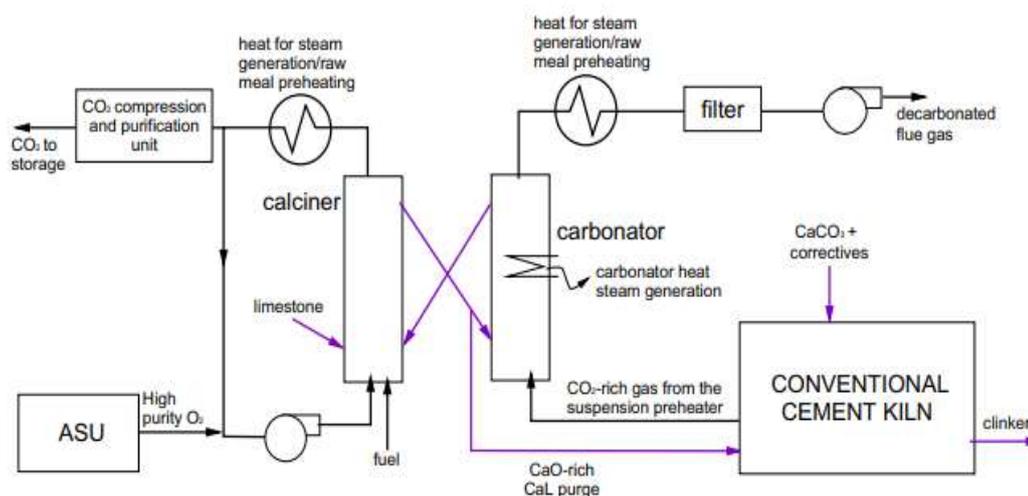


Figura 4: Fluxograma do processo da integração final do processo CaL para captura de CO₂ da fábrica de cimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a pesquisa bibliográfica feita, foi constatado que o processo de Calcium Looping já é bastante utilizado em indústrias, principalmente de cimento devido à matéria prima do processo, e tende a ser mais evidente nos próximos anos. A necessidade de diminuir as emissões de dióxido de carbono só aumenta devido à preocupação mundial com o processo de efeito estufa.

Também foi notado que os trabalhos mais recentes envolvendo o processo de CaL utilizam dois reatores de leito fluidizado circulante(LFC). Visto que o Brasil possui um déficit de artigos relacionados com o tema, é de extrema importância que o calcium looping, bem como os seus reatores (LFC) sejam estudados para que, no futuro, possamos estar aptos para adaptar as nossas usinas para a captura de carbono.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Laboratório de Combustão e Captura de Carbono (LC3) e ao Programa PRH 34.1 ANP/FINEP pela oportunidade.

REFERÊNCIAS

VERSTEEG, P., RUBIN, E. S. "IECM Technical Documentation: Ammonia-Based PostCombustion CO₂ Capture. Prepared for: National Energy Technology Laboratory", n. September, p. 59, 2012.

MERSCHMANN, VASQUEZ, E., SZKLO, A. S., et al. "Modeling water use demands for thermoelectric power plants with CCS in selected Brazilian water basins", International Journal of Greenhouse Gas Control, v. 13, p. 87–101, 2013.

ROCHEDO, Pedro Rua Rodriguez. Análise Econômica Sob Incerteza Da Captura De Carbono Em Termoelétricas a Carvão: Retrofitting E Capture-Ready. 2011. 362 f. UFRJ, 2011.

WANG, M., LAWAL, A., STEPHENSON, P., *et al.* "Post-combustion CO₂ capture with chemical absorption: A state-of-the-art review", Chemical Engineering Research and Design, v. 89, n. 9, p. 1609–1624, 1 set. 2011b.

HORNBERGER, M. et al. Experimental investigation of the carbonation reactor in a tail-end Calcium Looping configuration for CO₂ capture from cement plants. Fuel Processing Technology, v. 210, n. July, p. 106557, 2020

ERANS M., et al. Calcium looping sorbent for CO₂ capture. Applied Energy. v. 180, p. 722 – 742, 2016.

KUNII E LEVENSPIEL. Fluidization Engineering. Segunda Edição. Butterworth – Heinemann read publissing. 1991.

BASU, Prabir. Combustion and gasification in fluidized beds. New York: Taylor e Francis, p. 21 - 437 2006.

BANDARA J. C. et al. LoopSeal in circulation fluidized beds – Review and parametric studies using CFD simulation. *Chemical Engineering Science*. V. 227, p. 115917 (1 – 19), 2020.

SPINELLI, M. et al. Integration of Ca-Looping systems for CO₂ capture in cement plants. *Energy Procedia*, v. 114, n. November 2016, p. 6206–6214, 2017

HORNBERGER, M. et al. Calcium looping for CO₂ capture in cement plants – pilot scale test. *Energy Procedia*, v. 114, n. November 2016, p. 6171 – 6174, 2017