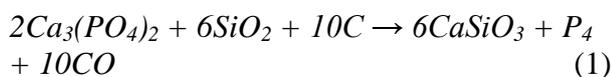


**DINÂMICA DE PARTÍCULAS DE APATITA EM SISTEMA AGITADO**F.G.M. PORTO^{1*}, J.R.D. FINZER¹, R.M. SILVA²,¹Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química²Tecplan Engenharia*e-mail: fabriciomenezesporto@hotmail.com

RESUMO - O ácido fosfórico é um produto extremamente importante para a sociedade, uma vez que está inserido no mercado alimentício, agrícola, farmacêutico e químico. A sua produção é por meio das rochas fosfáticas, e o principal processo ocorre com a lixiviação com reação química do fósforo através da aplicação de ácido sulfúrico, formando H_3PO_4 e $CaSO_4$. Este trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica de partículas de um reator para produção de ácido fosfórico. Foi utilizado um sistema de agitação com um impelidor 4-PBT45 num meio de ácido fosfórico, sulfúrico e apatita. Avaliando os resultados obtidos nos experimentos, concluiu-se que as partículas movimentaram-se adequadamente para promoção de mistura, consistindo numa velocidade de ascensão 50% maior que a velocidade terminal.

INTRODUÇÃO**A indústria do fósforo**

A rocha fosfática tem como composição $Ca_3(PO_4)_2$ que pode ser processada para obtenção do fósforo elementar, como é demonstrado na Equação 1, reação da rocha com dióxido de silício e carbono:



A rocha fosfática se apresenta de forma abundante na crosta terrestre, formada por diversos compostos, geralmente, na forma de sais, conhecidos como fosfatos. Por ser o fósforo muito reativo, não é encontrado livre na natureza e, devido às funções que o mesmo desempenha, se torna o grande responsável pela geração de energia para produção vegetal. O fósforo apresenta diversas aplicações, mas é na agricultura, sob a forma de fertilizantes (adubos), que ele desempenha papel fundamental (SOUZA; FONSECA, 2008).

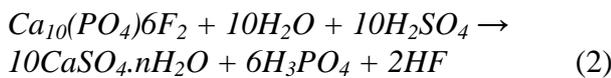
Os concentrados fosfáticos são comumente expressos em função do percentual em pentóxido de fósforo (P_2O_5), principalmente nos meios técnicos e científicos. No comércio e na indústria, porém, é muito comum expressá-lo em F.T.C – fosfato tricálcico $Ca_3(PO_4)_2$. Em função da origem pode-se citar as rochas fosfáticas de origem sedimentar que são muito reativas no solo, denominados por fosfatos naturais ou reativos. A rocha fosfática é a única fonte economicamente viável de fósforo, sendo obtida nos depósitos de origens sedimentares (em torno de 85% da oferta mundial), ígneas (próximo a 15%) e biogênicas (SOUZA; FONSECA, 2008).

Ácido fosfórico

A produção de ácido fosfórico, proveniente das rochas fosfáticas, pode ocorrer de duas formas: o processo hidrometalúrgico (via úmida), onde predomina o ataque com ácido sulfúrico, e o processo térmico, no qual o concentrado é reduzido até obter a forma elementar de fósforo, que depois é hidratado e

posteriormente oxidado, formando assim o ácido. Essa etapa ocorre em reator de tanque agitado, para homogeneizar o meio e reduzir o tempo de reação (LOUREIRO et al., 2008).

O processo por via úmida tem como objetivo destruir a estrutura cristalina dos constituintes da rocha, possibilitando que o radical fosfato esteja em solução na forma de ácido fosfórico. Baseado em uma reação química heterogênea, o resultado é uma polpa reacional composta por cristais de sulfato de cálcio, ácido fosfórico e ácido fluorídrico, conforme a Equação (2) (SILVA, 2000).



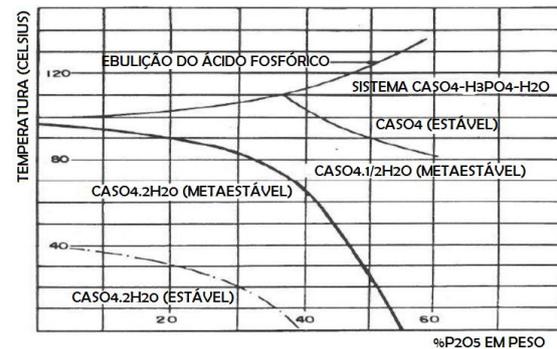
sendo de ordem $n = 2, \frac{1}{2}$ ou 0.

O sulfato de cálcio formado no meio fosfórico pode ter diferentes níveis de hidratação, que depende exclusivamente da concentração de P_2O_5 e temperatura de reação, conforme mostrado na Figura 1. As condições de solubilização da rocha fosfática favorecem a formação predominante de cálcio nas seguintes fases cristalinas (SILVA, 2000):

1. Anidrita – CaSO_4
2. Hemidrato – $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
3. Dihidrato – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (fosfogesso)

O processo inicia-se com adição de concentrado apatítico ao reator, utilizando um transportador helicoidal. Simultaneamente é adicionado ácido sulfúrico ocorrendo reação química. A polpa (ácido e sulfato de cálcio), composta por cerca de 40% de sólidos, é recalçada para um filtro rotativo. O ácido formado é separado do gesso que é submetido a um sistema de lavagem de 2 estágios. O filtrado dessa lavagem é utilizado como reciclo no reator de produção. O ácido é levado para estocagem para posterior clarificação e concentração. O sulfato de cálcio, após lavagem, é transportado para uma bacia de rejeito. Existe ainda o sistema de exaustão e lavagem que foi projetado para evitar a emissão de poluentes na atmosfera, além de controlar a temperatura do reator. Nessas condições de operação, é esperado que seja

Figura 1 - Diagrama de estabilidade de fases para o sistema $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ (SILVA, 2000).



produzido ácido fosfórico com teor entre 27%-30% de P_2O_5 e sulfato de cálcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, a uma proporção de 1 t P_2O_5 /5 t $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (LOUREIRO et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi calcular a dinâmica de partículas de uma mistura ácida de ácido fosfórico e sulfúrico contendo apatita para produção de ácido fosfórico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Execução do ensaio

Em béquer de 1000 mL, diâmetro de 100 mm, adicionar 500 mL de solução ácida (35% de ácido fosfórico em mistura com 2,9% de ácido sulfúrico), aquecer até 70°C (temperatura ideal para formação de gesso dihidrato) e manter agitação constante em 575rpm (velocidade determinada com testes práticos e pelo modelo de impelidor utilizado). Neste ponto, adicionar 20g do fosfato (apatita). Avaliar a agitação.

Equipamentos utilizados

1. Agitador IKA, modelo RW 2 digital, com impulsor 4PBT-45, diâmetro igual à 50 mm.
2. Chapa de Aquecimento Corning, modelo P420, P = 680 W;
3. Béquer de 1L com diâmetro igual a 100 mm.
4. Papel filtro faixa preta;
5. Ácido fosfórico com 85% de H_3PO_4 (99,8% de pureza);
6. Ácido sulfúrico com 98% de H_2SO_4 (99,5% de pureza);
7. Apatita com diâmetro médio de 0,00015m.

Após a realização dos ensaios, foram calculados o número de potência, número de bombeamento, velocidades de ascensão e

terminal para avaliação da dinâmica das partículas do meio.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo a relação da largura das pás pelo diâmetro do agitador (W/D) do sistema igual a 0,2 e a utilização de um impelidor 4-PBT-45 (*Pitched Blade Turbine*), não foi necessário corrigir o N_p , sendo esse igual a 1,37, conforme Figura 2, (DICKEY, 2004).

Figura 2- Valores de números de potência em regime turbulento variando com a geometria do impelidor (DICKEY, 2004).

$W/D = 1/5$	$W/D = 1/5$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/5$
Pás retas inclinadas $N_p = 1.37$	Pás retas inclinadas $N_p = 1.70$	Pás retas $N_p = 2.96$	Pás retas $N_p = 3.86$	Tipo disco $N_p = 5.46$

A velocidade de agitação (N) foi selecionada através de experimentos em laboratório, e constatou-se que 9,6 rps seria suficiente para manter o sistema em regime turbulento. A densidade da mistura dos ácidos, foi determinada em laboratório a 20°C, tendo o resultado de 1242 kg/m³.

Portanto, a velocidade periférica pode ser calculada através da Equação (3):

$$V_p = \pi \cdot N \cdot D \quad (3)$$

$$V_p = 1,5 \text{ m/s}$$

Segundo a Innophos Nutrition (2016), a viscosidade de uma solução contendo 35% de H₃PO₄ à 70°C é igual a 0,001242 kg/m.s. Com esses dados e o diâmetro do impelidor igual a 0,05m, foi calculado a potência absorvida do sistema e o número de Reynolds, aplicando as Equações (4) e (5) (DICKEY, 2004).

$$N_p = P/\rho \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (4)$$

$$P = 0,47 \text{ W}$$

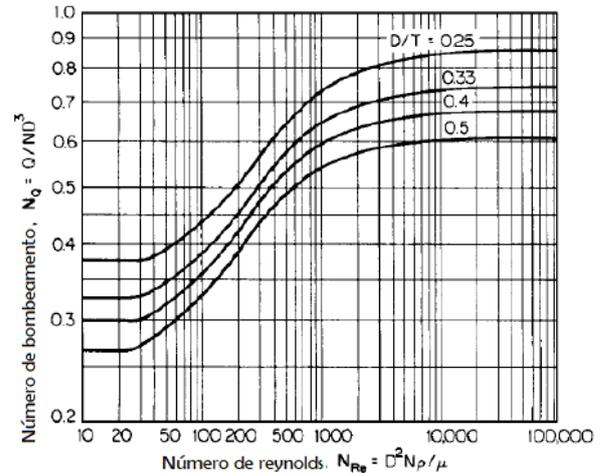
$$N_{Re} = \rho \cdot N \cdot D^2 / \mu \quad (5)$$

$$N_{Re} = 24.000$$

Sendo a relação do diâmetro do béquer e diâmetro do impelidor igual a 0,5, a Figura 3 possibilita a determinação do número de

bombeamento, consistindo em 0,6 (DICKEY, 2004).

Figura 3 – Número de bombeamento em função do número de Reynolds (DICKEY, 2004).



Portanto, a vazão gerada pelo impelidor, aplicando a Equação 6 é:

$$Nq = Q/N \cdot D^3 \quad (6)$$

$$Q = 0,00072 \text{ m}^3/\text{s}$$

A velocidade de ascensão do fluido na região anular entre a parede do tanque e o impelidor é dada pela Equação (7), sendo A_b a área da seção transversal do béquer e A_i a área da seção circular formada pela rotação do impelidor. A velocidade terminal das partículas é obtida pela aplicação da lei de Newton (Equação 8).

$$V_a = Q/(A_b - A_i) \quad (7)$$

$$V_a = 0,12 \text{ m/s}$$

A lei de Newton aplica-se para sistemas com $1000 < N_{Re} < 350.000$, (PERRY e HILTON, 2008):

$$V_t = 1,73 \cdot (g \cdot D_p \cdot (\rho_p - \rho) / \rho)^{1/2} \quad (8)$$

$$V_t = 0,08 \text{ m/s}$$

A velocidade de ascensão do fluido é 1,5 vezes a velocidade terminal das partículas, terminal das partículas o que significa que irão se deslocar no sentido ascendente pela força de arrasto do fluido.

CONCLUSÃO

Como resultado dos experimentos e dos cálculos realizados, foi avaliada a dinâmica das partículas de apatita/sulfato de cálcio num meio reacional contendo essencialmente ácido fosfórico e ácido sulfúrico, pode-se concluir que a velocidade terminal foi 50% menor que a velocidade de ascendência o que indica que o sistema de agitação estudado efetua o escoamento das partículas na direção vertical em um regime de escoamento turbulento conforme verificado com o cálculo do número de Reynolds.

NOMENCLATURA

A_b : área do béquer, m^2
 A_i : área do impelidor, m^2
 D : diâmetro do impelidor, m
 D_p : diâmetro médio da partícula, m
 g : aceleração da gravidade, m/s^2
 N : número de rotações, rps
 N_p : número de potência, adimensional
 N_q : número de bombeamento, adimensional
 N_{Re} : número de Reynolds, adimensional
 ρ : densidade, kg/m^3
 ρ_p : densidade da partícula, kg/m^3
 μ : viscosidade, $k/m.s$
 P : potência absorvida, W
 Q : vazão, m^3/s
 V_a : velocidade de ascendência, m/s
 V_p : velocidade periférica, m/s
 V_t : velocidade terminal, m/s

REFERÊNCIAS

DICKEY, D. S. (1984), Liquid Agitation. In: Handbook of Chemical Engineering Calculations. Chopey, N. P., Hichs, T. G. McGraw-Hill, New York.

INNOPHOS NUTRITION. Innophos Phosphoric Acid. Disponível em: https://www.innophos.com/___sitedocs/.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MONTE, M.B.M.; NASCIMENTO, M. (2008), Agrominerais-Fosfato, In: Rochas & Minerais Industriais. Usos e Especificações. 2 ed. CETEM. Rio de Janeiro.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (1973) Chemical Engineer's Handbook. 5. ed. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.

SILVA, R.M. (2000). Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico. Tecplan – Consultoria e Planejamento. Araxá.

SOUZA, A. E; FONSECA, D.S. (2009), Fosfato. In: Economia Mineral do Brasil. Estudo sobre fosfato. DNPM, Brasília.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no ENEMP 2017.