

Engenharias, Ciência e Tecnologia

**Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)**

SAFETY HELMET SAFETY

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-084-1

DOI 10.22533/at.ed.841193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume I apresenta, em seus 10 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão de Sistemas, Processos Produtivos e Qualidade em Serviços relacionados à engenharia de produção nas áreas de gestão da produção, processos produtivos e, Gestão de Operações e Serviços.

As áreas temáticas de Gestão de Sistemas, Processos Produtivos e Qualidade em Serviços, tratam de temas relevantes para a Gestão da Produção. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam gerir de uma forma mais otimizada conhecimentos e estudos na área de processos produtivos, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão de Sistemas e Processos Produtivos, e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ANÁLISE DO BALANÇO DE MASSA E DA DISTRIBUIÇÃO DAS PARTÍCULAS DO PÓ NA SECAGEM DE PASTA EM LEITO DE JORRO

João Pedro Alves de Azevedo Barros

José Teixeira Freire

DOI 10.22533/at.ed.8411931011

CAPÍTULO 2 18

APLICAÇÃO DA INTERMITÊNCIA NO PROCESSO DE SECAGEM DE MATERIAL PARTICULADO EM LEITO DE JORRO

Ronaldo Correia de Brito

Rodrigo Béttega

José Teixeira Freire

DOI 10.22533/at.ed.8411931012

CAPÍTULO 3 34

COBERTURAS DE SOLO E TELAS FOTOSSELETIVAS NO CULTIVO DA ALFACE EM BOA VISTA, RR

Taline Katlen de Oliveira Nunes

João Luiz Lopes Monteiro Neto

João Vitor Paiva Cabral

José de Anchieta Alves de Albuquerque

Elton da Silva Dias

Luiz Guilherme Carvalho Zborowski

Rannyonara Oliveira Rodrigues

Brito Luis Dresch

DOI 10.22533/at.ed.8411931013

CAPÍTULO 4 40

EFEITO DOS AGENTES ENCAPSULANTES NAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE EXTRATO DE URUCUM (BIXA ORELLANA)

Caroline Pereira Moura Aranha

Caio Francisco Valente Serra

Vânia Regina Nicoletti Telis

DOI 10.22533/at.ed.8411931014

CAPÍTULO 5 51

LEITO BIFÁSICO NA REAÇÃO DE APATITA NA FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Fabrcio Gomes Menezes Porto

José Roberto Delalibera Finzer

Roberto Mattioli Silva

DOI 10.22533/at.ed.8411931015

CAPÍTULO 6 61

MUDAS DE MARACUJAZEIRO-AMARELO PRODUZIDAS EM DIFERENTES AMBIENTES E SUBSTRATOS

Roberto Tadashi Sakazaki

João Luiz Lopes Monteiro Neto

Wellington Farias Araújo

Carlos Abanto-Rodríguez

Rafael Souza Coimbra e Silva

Taline Katlen de Oliveira Nunes

Sonicley da Silva Maia

Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.8411931016

CAPÍTULO 7 67

PRODUÇÃO DE MILHO VERDE EM CONSÓRCIO COM CROTALARIA JUNCEA SOB DIFERENTES DOSAGENS DE N EM TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA EM RORAIMA

Juliano Jonas Sábio de Melo

Hipólito Ribas Pereira

Maria Edjane Matias Silva

Edmilson Evangelista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8411931017

CAPÍTULO 8 73

REDUÇÃO DE COR ICUMSA DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR PELA UTILIZAÇÃO DE BENTONITA COMO CLARIFICANTE

Sarah Arvelos

Ananda Cristina Coelho Ribeiro

Heitor Otacílio Nogueira Altino

DOI 10.22533/at.ed.8411931018

CAPÍTULO 9 88

LOGÍSTICA REVERSA: UM LEVANTAMENTO SOBRE O PÓS-VENDA DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COM COMERCIANTES DO BAIRRO CAPIM MACIO, NA CIDADE DO NATAL-RN

Glauber Henrique Borges de Oliveira Souto

Claudiane da Silva

Janayne Thayane de Souza Toscano

DOI 10.22533/at.ed.8411931019

CAPÍTULO 10 94

QUALIDADE DA ÁGUA CONSUMIDA EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA ÁREA RURAL DE CERRITO ALEGRE, 3^o DISTRITO DE PELOTAS/RS

Catiúscia Weinert Mizuschima

Jocelito Saccol de Sá

Marília Guidotti Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.84119310110

SOBRE O ORGANIZADOR 108

LEITO BIFÁSICO NA REAÇÃO DE APATITA NA FABRICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Fabício Gomes Menezes Porto

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química
Uberaba - MG

José Roberto Delalibera Finzer

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química
Uberaba - MG

Roberto Mattioli Silva

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP.
São Paulo - SP

RESUMO: O ácido fosfórico é um produto de elevada importância para a indústria, uma vez que está inserido no mercado alimentício, agrícola, farmacêutico e químico. A sua produção tem como matéria-prima as rochas fosfáticas, e o principal processo ocorre com a lixiviação e a reação química da rocha com ácido sulfúrico, formando H_3PO_4 e $CaSO_4$ hidratado. Este trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica de partículas em um reator para produção de ácido fosfórico. Foi utilizado um sistema de agitação com um impelidor do tipo 4-PBT45 num meio de ácidos fosfórico, sulfúrico e apatita. Avaliando os resultados obtidos nos experimentos, concluiu-se que a dinâmica das partículas possibilitou a ocorrência adequada de mistura, consistindo numa velocidade de ascensão do meio 50%

maior que a velocidade terminal das partículas.

PALAVRAS-CHAVE: reatores, ácido fosfórico, dinâmica de partículas

ABSTRACT: Phosphoric acid is a product of great importance for the industry, since it is inserted in the food, agricultural, pharmaceutical and chemical market. Its production is based on phosphate rocks, and the main process occurs with the leaching and chemical reaction of the rock with sulfuric acid, forming H_3PO_4 and hydrated $CaSO_4$. This work aims to evaluate the dynamics of particles in a reactor for the production of phosphoric acid. A stirring system with a 4-PBT45 type impeller was used in a condition of phosphoric, sulfuric and apatite acids. By evaluating the results obtained in the experiments, it was concluded that the particle dynamics allowed an adequate mixing occurrence, consisting of a mean velocity of 50% higher than the terminal velocity of the particles.

KEYWORDS: reactors, phosphoric acid, particle dynamics

1 | INTRODUÇÃO

A rocha fosfática, na sua composição, possui fosfato com a fórmula molecular $Ca_3(PO_4)_2$ que pode ser processada para

obtenção do fósforo elementar, como é demonstrado na reação da rocha com dióxido de silício e carbono:



Esse mineral se apresenta de forma abundante na crosta terrestre, formado 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 imprescindível 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).

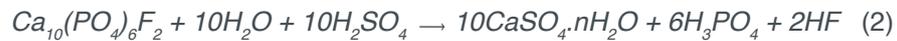
Os concentrados fosfáticos são comumente expressos em função do percentual de pentóxido de fósforo (P_2O_5), principalmente nos meios técnicos e científicos. No comércio e na indústria, porém, é muito comum expressá-lo em F.T.C – fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Em função da formação podem-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 biogénicas (SOUZA; FONSECA, 2008).

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. A fabricação pela via úmida ocorre com a adição de concentrado apatítico ao reator, utilizando um transportador helicoidal. Simultaneamente é bombeado ácido sulfúrico e a reação ocorre rapidamente. A polpa (ácido fosfórico e sulfato de cálcio), composta por cerca de 40% de sólidos, é recalçada para um filtro rotativo, onde o ácido é separado do gesso, consistindo no sulfato de cálcio hidratado com n moléculas de água. O gesso ainda passa por um sistema de lavagem em dois estágios. O filtrado obtido na lavagem é utilizado como reciclo no reator de produção, enquanto o produto inicial é estocado para posterior clarificação e concentração (ver Figura 1). O sulfato de cálcio produzido é retirado por outra helicoide e transportado para uma bacia de rejeito. Existe ainda a presença de um sistema de exaustão e lavagem, projetado para evitar a emissão de poluentes na atmosfera, além de controlar a temperatura do reator. Nessas condições de operação, é produzido ácido fosfórico com teor entre 27% a 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 de P_2O_5 /5 t $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2008).

A clarificação do produto é realizada decantando os sólidos que não foram separados na filtração. Após isso, o mesmo é enviado para estocagem, seguindo a concentração, que é realizada via trocadores de calor antes de alimentar um evaporador a vácuo, no qual o ácido é concentrado e a água separada contém resíduos de flúor. O vapor gerado é enviado para uma torre de absorção, onde é gerado ácido fluorsilícico

que é retirado, juntamente com outras impurezas, em um condensador barométrico (LAPIDO-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, em que a apatita engloba o flúor, o resultado é uma polpa reacional composta por cristais de sulfato de cálcio, ácido fosfórico e ácido fluorídrico, conforme a reação (SILVA, 2000):



sendo de ordem $n = 2, \frac{1}{2}$ ou 0 . A equação está balanceada para $n = 1$.

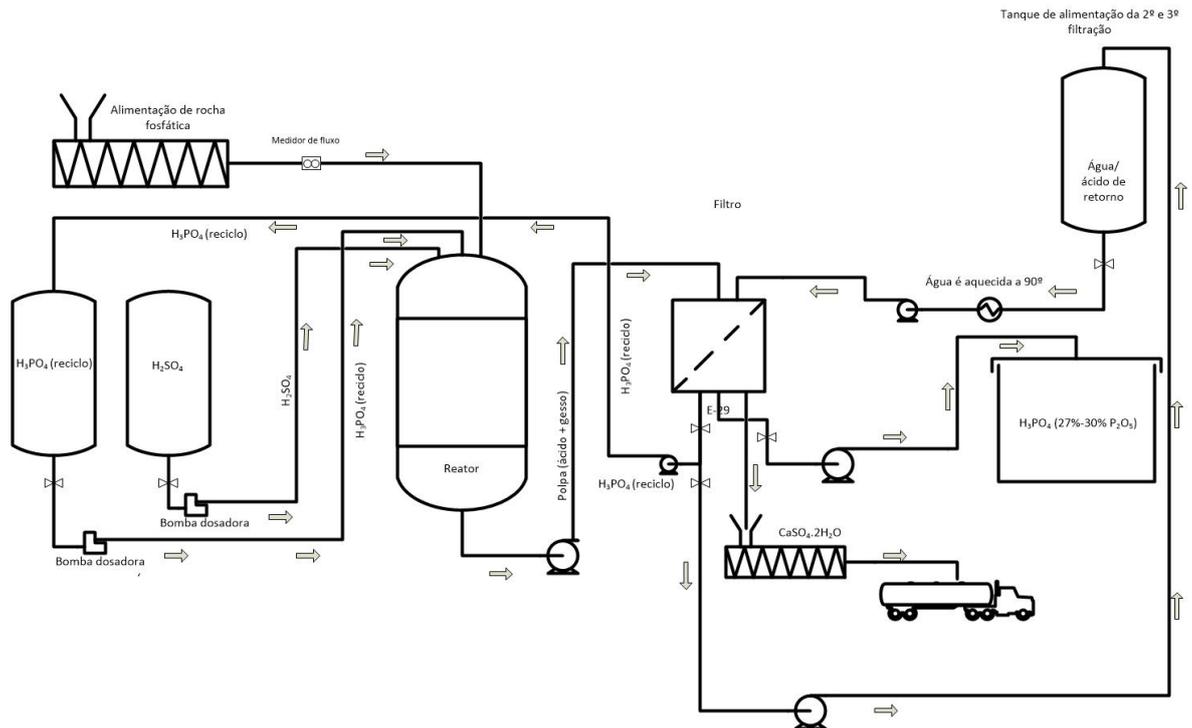


Figura 1 – Fluxograma de produção de ácido fosfórico por via úmida.

O sulfato de cálcio formado no meio fosfórico pode ter diferentes níveis de hidratação, que depende exclusivamente da concentração de P_2O_5 e da temperatura de reação, conforme mostrado na Figura 2. As condições de solubilização da rocha fosfática favorecem a formação predominante de sulfato 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)

Vasos de mistura mecanicamente agitados são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações industriais, tais como precipitação, floculação, polimerização, fermentação, bem como cristalização e catálise heterogênea. Como resultado, existe uma literatura ampla sobre o assunto, e os princípios de projeto foram determinados

para muitas situações de significância industrial (LUO, 1977). Um reator de tanque agitado, “*stirred tank reactor*” (STR) é um recipiente projetado para conter produtos químicos líquidos, com um impelidor para misturar o conteúdo. Os STR’s são um tipo de equipamento robusto usado em muitas unidades de operação, tanto em produção em larga escala quanto nas indústrias de química fina e farmacêutica. Os processos incluem mistura, aquecimento e resfriamento, ocorrendo reações químicas (endotérmicas ou exotérmicas). Em combinação com um condensador, as operações de refluxo e destilação também podem ser realizadas (BENTHAM, 2015).

Para tanques agitados com impelidores axiais, o volume ativo médio da circulação não é todo o tanque, mas uma altura equivalente a $2/3$ do diâmetro do tanque. O escoamento ascendente é dominado pelo movimento ascendente nas proximidades da parede do tanque. A região do impelidor é importante porque este é o local em que se inicia a mistura em um tanque agitado e também é o local em que os redemoinhos mais energéticos, são formados. Os redemoinhos são originários das pás do rotor. A região do impulsor geralmente tem uma taxa de dissipação energética mais alta do que o restante do tanque, o que indica que a maior parte da energia gerada pelo impulsor é dissipada em uma pequena porção do tanque (BITTORF, 2000).

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

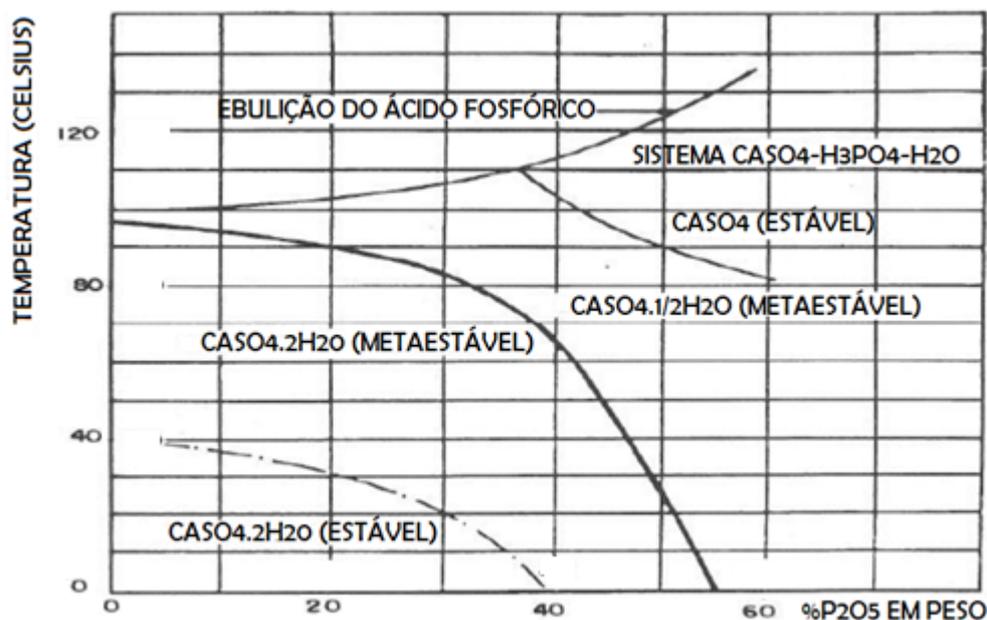


Figura 2 - Diagrama de estabilidade de fases para o sistema $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

2 | 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, conforme a Figura 2) e manter agitação constante em 575 rpm para total mistura da solução (velocidade determinada com testes preliminares), nesta condição, adicionar 20 g do fosfato (apatita).

Equipamentos utilizados

1. Reator consistindo de agitador IKA, modelo RW 2 digital, com impulsor 4PBT-45, diâmetro igual à 50 mm. 2, ver a Figura 3. 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 0,00015 m.

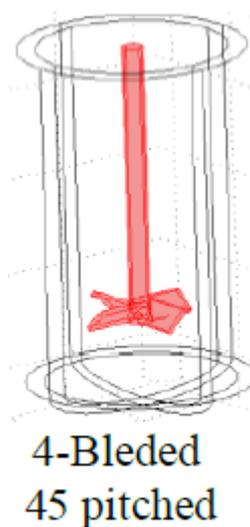


Figura 3 - Geometria do rotor sem defletores (PATEL et al., 2014)

A tensão de cisalhamento no sistema é uma função complexa que consistem nos gradientes de velocidade, diferença de pressão nas proximidades da pá do rotor, nível de turbulência e viscosidade da mistura. Estes gradientes de velocidade representam diferenças de velocidade entre partes adjacentes do meio, em um determinado comprimento, que são dispersados. Medindo-se velocidades médias ao longo do tempo próximas à lâmina do rotor (Figura 4), o gradiente de velocidade e a taxa de cisalhamento podem ser obtidos.

Se um sistema apresentar uma taxa de cisalhamento de 1000 s^{-1} , são identificadas variações de velocidade da ordem de 1 m/s. Altas taxas de cisalhamento são geradas na vizinhança imediata do impulsor. No entanto, o volume dessa região é relativamente pequeno e, portanto, uma quantidade muito pequena do material é submetida a essas taxas de cisalhamento. A etapa geral de mistura é um resultado da da combinação da taxa de cisalhamento aplicada ao volume de reagentes. Informações detalhadas sobre a distribuição das taxas de cisalhamento e respectivos volumes são difíceis de obter experimentalmente. A dinâmica de fluidos computacional pode ser usada para

obter informações para dadas condições de mistura (PAUL et al., 2004). Na Figura 5 são identificadas velocidades máximas no meio reacional em para diferentes tipos de impelidores e velocidades de rotação.

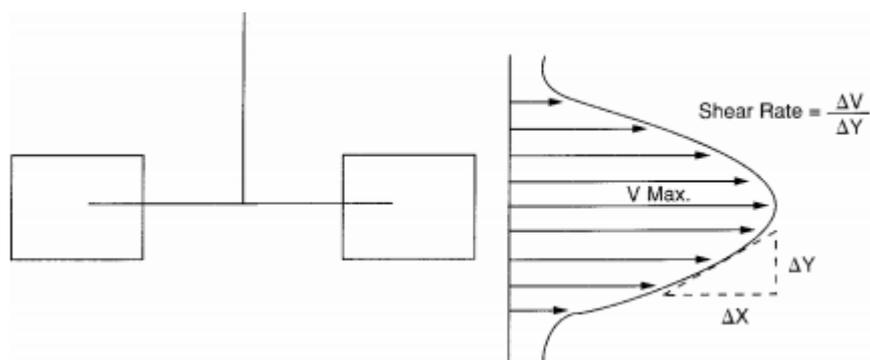


Figura 4 - Perfil de velocidade vertical próximo à lâmina (PAUL et al.,2004)

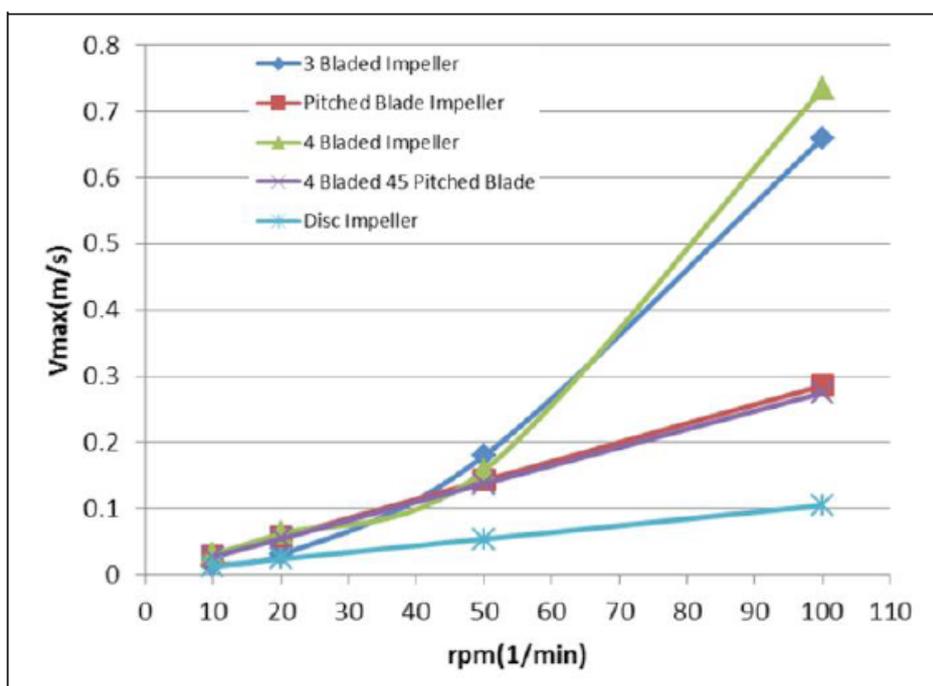


Figura 5 - Velocidade máxima para diferentes tipos de impelidores (PATEL et al., 2014).

Tratamento dos Dados

Após a realização dos ensaios foram calculados: o número de potência, número de bombeamento, velocidades de ascendência e terminal para avaliação da dinâmica das partículas do meio.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da geometria, sendo 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), obtém-se o número de Potência (N_{po}), sendo esse igual a 1,37, para agitação em regime turbulento, condição em que independe do número de Reynolds, ver a Figura 6 (DICKEY, 2004).

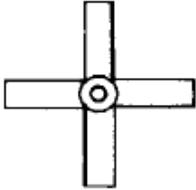
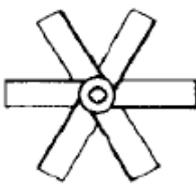
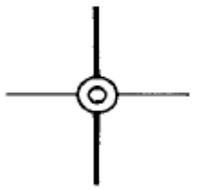
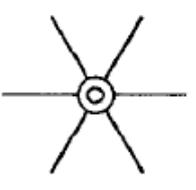
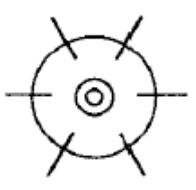
				
W/D = 1/5	W/D = 1/5	W/D = 1/6	W/D = 1/6	W/D = 1/5
Pás retas inclinadas $N_p = 1.37$	Pás retas inclinadas $N_p = 1.70$	Pás retas $N_p = 2.96$	Pás retas $N_p = 3.86$	Tipo disco $N_p = 5.46$

Figura 6 - Valores de números de Potência, para operação em regime turbulento, em função da geometria do impelidor (DICKEY, 2004).

A velocidade de rotação (N) foi selecionada de experimentos em laboratório e constatou-se que 9,6 rps possibilitava uma mistura intensa do meio, característica do regime turbulento. A densidade da mistura da fase líquida, contendo os ácidos, foi determinada em laboratório a 20°C, através da medida da massa de 100 mL da solução contidos em uma proveta calibrada e pesados em uma balança com resolução de 0,01 g, resultando em 1242 kg/m³.

A velocidade periférica pode ser calculada com a Equação (1):

$$V_p = \pi \cdot N \cdot D_a = \pi \cdot 9,6 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ m/s} \quad (1)$$

onde: D_a é o diâmetro do impelidor, em m.

Usando a Figura (5), a equação da linha reta associada aos pontos experimentais do impelidor com quatro pás com ângulo de 45° é:

$$V_{max} = 2,83 \cdot 10^{-3} N$$

onde: N é a velocidade do impulsor em rpm.

Para a velocidade de operação no estudo atual, tem-se $V_{max} = 1,63 \text{ m/s}$. Que corresponde à velocidade calculada anteriormente.

Conforme Tabela 1 (INNOPHOS NUTRITION, 2016), a viscosidade de uma solução contendo 35% de H_3PO_4 a 70°C é igual a 0,001242 kg/m.s. Com esses dados e o diâmetro do impelidor (D_a) igual a 0,05 m, foi calculado a potência absorvida do sistema (P) e o número de Reynolds (N_{Re}) aplicando as Equações (2) e (3) (DICKEY, 2004).

C (%) H ₃ PO ₄		Viscosidade, centistokes (T °C)									
Em massa	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	
5	1.1	0.99	0.89	0,74	0,63	0.54	0.47	0.42	0.37	0.33	
10	1.2	1.1	0.99	0.83	0.71	0.61	0.54	0.47	0.42	0.38	
15	1.4	1.2	1.1	0.94	0.81	0.69	0.61	0.53	0.47	0.43	
20	1.6	1.4	1.3	1.1	0.92	0.78	0.69	0.60	0.54	0.48	
25	1.8	1.6	1.5	1.2	1.0	0.89	0.79	0.69	0.61	0.55	
30	2.2	1.9	1.7	1.4	1.2	1.0	0.90	0.79	0.70	0.62	
35	2.6	2.2	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	0.90	0.79	0.71	
40	3.0	2.6	2.3	1.9	1.5	1.3	1.2	1.0	0.90	0.81	
45	3.6	3.1	2.7	2.2	1.8	1.5	1.3	1.2	1.0	9.2	
50	4.3	3.7	3.3	2.6	2.1	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1	

Tabela 1 – Viscosidade do ácido fosfórico para diferentes temperaturas e concentrações.

$$P = N_{Po} / \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 = 1,37 / 1242 \cdot 9,6^3 \cdot 0,05^5 = 0,47 \text{ kW} \quad (2)$$

$$N_{Re} = N \cdot \rho \cdot D_a^2 / \mu = 9,6 \cdot 1242 \cdot 0,05^2 / 0,001242 = 24000 \quad (3)$$

Sendo a relação do diâmetro do béquer e diâmetro do impelidor igual a 0,5, a Figura 7 possibilita a determinação do número de bombeamento, consistindo em 0,6 (DICKEY, 2004).

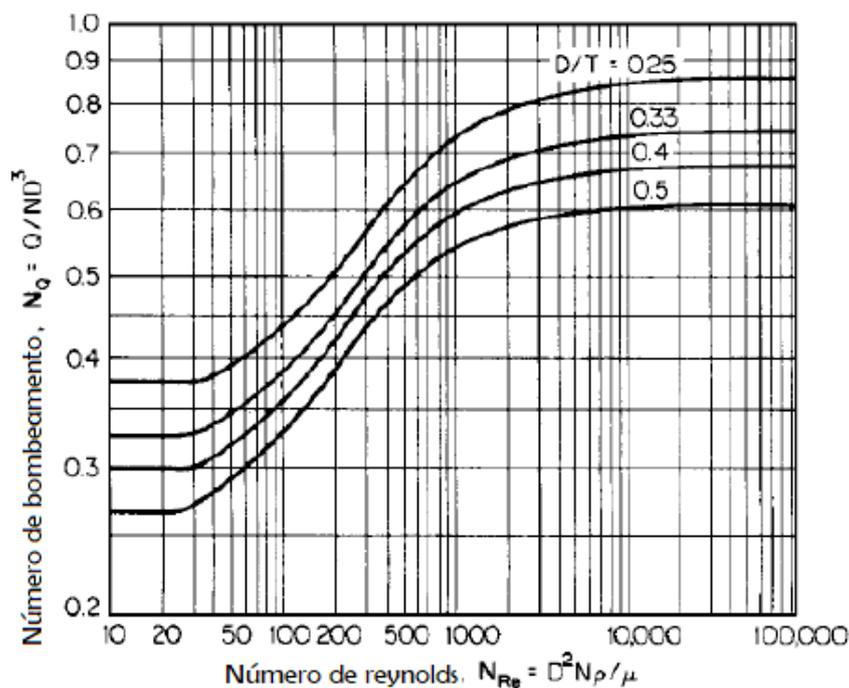


Figura 7 – Número de bombeamento em função do número de Reynolds.

Portanto, a vazão gerada pelo impelidor, aplicando a Equação (4) é:

$$Q = N_Q / N \cdot D_a^3 = 0,6 / 9,6 \cdot 0,05^3 = 0,00072 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

A velocidade média de ascendência do fluido na região anular entre a parede do

tanque e o impelidor é dada pela Equação (5), sendo A_b a área da seção transversal do reator 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 (6).

$$V_a = Q/(A_b - A_i) = 0,00072/(0,00785 - 0,0019625) = 0,12 \text{ m/s} \quad (5)$$

Conforme cálculo anterior, a velocidade do fluido varia de 1,5 m/s na extremidade do impulsor até cerca de zero na parede do reator, para a direção radial na posição da altura do impelidor.

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

$$V_t = 1,73 \cdot (g \cdot d_p \cdot (\rho_s - \rho) / \rho)^{1/2} = 1,73 \cdot (9,81 \cdot 0,00015 \cdot (3000 - 1242) / 1242)^{1/2} = 0,08 \text{ m/s} \quad (6)$$

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

4 | CONCLUSÃO

Com o 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, portanto, 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.

REFERÊNCIAS

BENTHAM, E. J. (2015); **Conjugate transfer processes in a pilot-scale nbaffled agitated vessel with a plain jacket Liquid Agitation**; University of Leeds.

BITTORF, K. J (2000); **The Application of Wall Jets in Stirred Tanks with Solids Distribution**; A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering.

DICKEY, D. S. Liquid Agitation. In: **Handbook of Chemical Engineering Calculations**. Chohey, N. P., Hichs, T. G. New York, McGraw-Hill, 2004. p: 12-1 a 12-20.

INNOPHOS NUTRITION. **Innophos Phosphoric Acid**. Disponível em: https://www.innophos.com/___sitedocs/innophos-phosphoric-acid-table-10-figure-11b.pdf, Acesso em: 10/05/2016.

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

- PAUL, E. L.; ATIEMO-OBENG, V. A.; KRESTA, S. M.; (2004) **HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING**. Sponsored by the North American Mixing Forum A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION.
- PATEL, P.; VAIDYAL, P.; SINGH, G. (2014); **An Overview of Impellers, Velocity Profile and Reactor Design**. Excerpt from the Proceedings of the 2014 COMSOL Conference in Bangalore.
- PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (2008) **Chemical Engineer's Handbook**. 5. ed. Perry, R.H.; Chilton, C. H. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha.
- SILVA, R.M. (2000). **Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico**. Tecplan – Consultoria e Planejamento.
- SOUZA, A. E; FONSECA, D.S. (2009), **Fosfato. In: Economia Mineral do Brasil. Estudo sobre fosfato**. DNPM, Brasília.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-084-1

