

1. Introdução

O fósforo juntamente com o nitrogênio e o potássio compõem o grupo dos macro-nutrientes primários, elementos imprescindíveis para o desenvolvimento das plantas. É importante considerar que o fósforo não tem substitutos na agricultura, não é encontrado em estado puro na natureza e, em combinação com diversos elementos, forma uma grande variedade de compostos. As jazidas de rochas fosfáticas são as mais importantes fontes do elemento, tendo como origem ígnea, sedimentar, metamórfica ou resultante de acumulação de matéria orgânica (dejetos de aves). Os depósitos de origem sedimentar e de origem ígnea são os mais importantes do ponto de vista econômico. No Brasil a maioria das jazidas é de origem ígnea, relacionadas aos ambientes geológicos onde ocorreu intensa atividade vulcânica, com baixo teor de P_2O_5 variando em torno de 13%. Enquanto as jazidas de origem sedimentar ocorrem no nordeste, principalmente em Pernambuco e Bahia [1].

As reservas mundiais de rocha fosfática são lideradas por Marrocos com 50 bilhões de toneladas, seguidos por China, Síria, Jordânia, África do sul, EUA e Rússia, concentrando mais dos 80% do patrimônio mundial de fosfato. O Brasil ocupa a 11ª colocação com cerca de 270 milhões de toneladas [2]. Distribuído entre Minas Gerais (65%), Goiás (18%), Santa Catarina (6,4%) e São Paulo (3,7%), que juntos detêm em torno dos 90% da reserva total, seguidos dos estados de Ceará, Pernambuco, Bahia, Paraíba e Piauí [3].

Em 2010, a produção mundial de rocha fosfática foi de 166 milhões de toneladas como mostrado na Tabela 1. O Brasil com 6.2 milhões de toneladas participou com 3,5 % do montante ofertado, ocupando a 6ª colocação mundial. A expansão de diversas áreas como a agrícola e a pecuária deve contribuir para o crescimento no consumo interno de rocha fosfática. No ano 2004 esse setor consumiu um 78,4% do fosfato, incrementado para 84,11% no ano 2009. Sendo o setor que mais consome fosfato beneficiado seguido por sabões, detergentes,

produtos de limpeza e outros produtos químicos com 11,71%, ração animal com 2,24% e corretivo de solos com 0,99 %. (Figura 1) [3]

Tabela 1- Reservas e produção de rocha fosfática no mundo (Fonseca, 2011. [2])

Discriminação	Reservas (10 ³ t P ₂ O ₅)	Produção (10 ³ t)			
		Países	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)
Brasil	273.000		6.084	6.192	3,5
China	3.700.000		60.200	65.000	37,0
Estados Unidos	1.400.000		26.400	26.100	14,8
Marrocos e Saara Ocidental	50.000.000		23.000	26.000	14,8
Rússia	1.300.000		10.000	10.000	5,7
Tunísia	100.000		7.400	7.600	4,3
Jordânia	1.500.000		5.280	6.000	3,4
Egito	100.000		5.000	5.000	2,8
Israel	180.000		2.700	3.000	1,7
Síria	1.800.000		2.470	2.800	1,6
Austrália	82.000		2.800	2.800	1,6
África do Sul	1.500.000		2.240	2.300	1,3
Outros Países	3.065.000		12.426	13.208	7,5
Total	65.00.000		166.000	176.000	100

(r): Revisado, (p): Dados preliminares

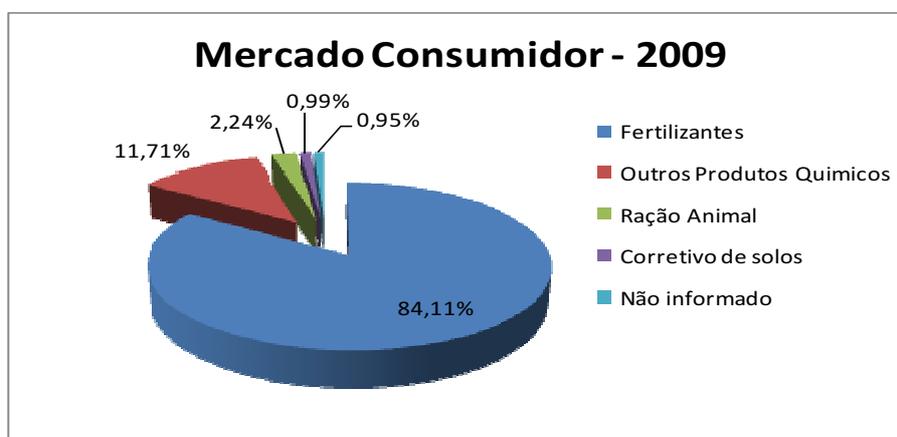


Figura 1- Mercado consumidor de fosfato beneficiado no ano 2009, (Anuário Mineral Brasileiro-2010, DNPM. [3])

O principal mineral de rochas fosfáticas é a apatita, a maior importância da própria está relacionada à produção de fertilizantes e ácido fosfórico, os que podem ser produzidos por via úmida com a utilização de ácido sulfúrico. Os fertilizantes produzidos a partir do ácido sulfúrico podem ser: o superfosfato Simples-SSP, superfosfato Triplo-TSP ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), fosfato mono-amônico-MAP($(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$), fosfato diamônico-DAP ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), além dos fertilizantes NP e NPK [4]. O fosfato usado nesta etapa, na realidade é um concentrado fosfático, o qual deve conter como mínimo um teor de fósforo (P_2O_5) em torno de 33% [5, 6, 7]. O processo mais usado na concentração de minérios fosfáticos é o processo de flotação [8, 9] devido à fácil separação que pode existir entre fosfatos e minerais de ganga – entre estes: fluoretos, carbonatos, argilas, quartzo silicatos e óxidos metálicos – no entanto, com as mudanças já mencionadas na composição mineralógica do minério, a eficiência do processo sofre uma alteração [10]. Para poder lidar com essas constantes alterações, muitos estudos de flotação têm sido realizados com o intuito de obter reagentes de baixo custo, sem o comprometimento da seletividade, e que consigam atingir os valores satisfatórios ou desejados de recuperação (torno de 60%) e teor de fósforo (> 33%).

Assim com tudo o mencionado e para poder atender as especificações cada vez mais restritas do mercado o produtor de fosfato tem a necessidade de reduzir os custos operacionais, para lograr isso vem se incentivando a pesquisa e desenvolvimento de novas condições operacionais de beneficiamento mineral. Além dessa busca de redução de custos, o produtor de fosfato vem deparando-se com dois fatores, o esgotamento das jazidas com teores de P_2O_5 adequados [11] e o incremento de regulações ambientais. Diante disto, vem tornando-se necessário o processamento de jazidas fosfáticas mais complexas, assim como a necessidade do beneficiamento de finos e até rejeitos do processo. Essa realidade tem conduzido ao desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas a serem utilizadas na concentração mineral, além da utilização de diferentes reagentes como alternativa importante para a mitigação de problemas ambientais.

O emprego de microrganismos no processamento mineral, assim como, na remediação de resíduos e efluentes da indústria mineral tem despertado grande interesse e vem se tornando um campo da biotecnologia cada vez mais estudado e

explorado [12]. Uma nova proposta para o uso de microrganismos é a sua aplicação como reagentes de flotação. A presença de determinados grupos funcionais ionizáveis na superfície microbiana, confere aos microrganismos determinadas características de adsorção que os tornam capazes de substituir certos reagentes químicos convencionais de flotação e floculação em operações de processamento mineral [13]. Esses microrganismos e/ou seus produtos metabólicos podem modificar a superfície mineral, tanto direta como indiretamente. O mecanismo direto envolve a adesão direta das células microbianas as partículas minerais, enquanto o mecanismo indireto refere-se aos produtos do metabolismo ou frações solúveis da célula que agem como reagentes ativos na superfície. Ambas as interações levam a alterações na química da superfície, tornando-a hidrofílica ou hidrofóbica dependendo do caráter da bactéria, podendo assim, ser aplicados na flotação e floculação mineral. Segundo Rao e Subramanian [14] a primeira tentativa no bioprocessamento de fosfatos foi feita por Gari et al., (1963), usando bactérias e fungos como agentes floculantes no processamento de argilas fosfáticas. Depois, Smith et al., (1991) usaram a bactéria *Mycobacterium Plhei* para flocular argilas fosfáticas, hematita e carvão. A mistura do caráter hidrofóbico da bactéria e o fato de ter uma carga superficial altamente negativa facilitaram que *M. plhei* seja um bom floculante para argilas de fosfato dolomítico, finos de hematita e partículas finas de minério de carvão.

Nesta pesquisa, foi avaliado o efeito da espécie bacteriana *R. opacus* como coletor e/ou espumante na flotação mineral, usando duas amostras puras de mineral apatita e quartzo. Da mesma forma, foi estudado o comportamento eletroforético das amostras minerais antes e após interação com a biomassa, assim como o comportamento hidrofóbico, por meio de medidas de ângulo de contato. Finalmente, utilizou-se a microscopia eletrônica para identificar as células da bactéria aderidas na superfície do mineral.